

**Российский научно-исследовательский институт
проблем мелиорации**

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО
СТОКА. ПРОГНОЗ ПРИЧИНЯЕМОГО УЩЕРБА.
КОМПЕНСАЦИОННЫЕ МЕЛИОРАТИВНЫЕ
МЕРОПРИЯТИЯ**

Новочеркасск
РосНИИПМ
2016

УДК 631.6:556.164

ББК 40.6

У 74

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В. И. Ольгаренко – профессор кафедры «Мелиорация земель» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института Донского государственного аграрного университета, Заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор;

Ю. А. Свистунов – заведующий кафедрой «Комплексные системы водоснабжения» Кубанского государственного аграрного университета, доктор технических наук, профессор.

Щедрин В. Н., Балакай Г. Т., Полуэктов Е. В., Балакай Н. И.

У 74 Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия: монография / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 450 с.

ISBN 978-5-9907461

В проведении исследований и подготовке материалов для отдельных разделов монографии принимали участие: С. М. Васильев, Л. М. Докучаева, А. Н. Бабичев, С. А. Селицкий, Т. П. Андреева, О. В. Воеводин, И. Н. Ильинская, Е. М. Антоненко, С. Г. Балакай, Р. Е. Юркова, Л. А. Воеводина, Л. И. Юрина, И. В. Клишин, Н. И. Джабраилова, Е. В. Долина, Е. А. Бабичева, П. Н. Балабко, В. Г. Минеев, В. С. Егоров, Л. Ф. Литвин, Н. А. Семенов, Н. И. Тупикин, В. В. Бородычев, И. И. Конторович, М. Н. Лытов, В. М. Гуренко, А. Т. Барабанов, Д. А. Шевченко.

В монографии приводятся результаты многолетних исследований закономерностей поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод с земель сельскохозяйственного назначения, методы определения ущерба (вреда), наносимого поверхностным водным объектам и мероприятия по предотвращению эрозии и вредного воздействия на поверхностные водные объекты.

Монография предназначена для специалистов мелиоративной отрасли АПК РФ, а также для магистрантов и аспирантов по направлениям подготовки «Природобустройство и водопользование» и «Сельское хозяйство».

УДК 631.6:556.164

ББК 40.6

ISBN 978-5-9907461-4-5

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2016

**Russian Research Institute
of Land Improvement Problems**

**THE CONDITIONS FOR SURFACE RUNOFF
FORMATION. THE FORECAST OF THE DAMAGE.
COMPENSATORY MELIORATIVE MEASURES**

Novocherkassk
Russian Research Institute of Land Improvement Problems
2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	15
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ВОПРОСАМ СНИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ, ДОЖДЕВЫХ И ИРРИГАЦИОННЫХ ВОД, МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА ОТ ЭРОЗИИ И НАЗНАЧЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ	16
1.1 Водные ресурсы России и их состояние	16
1.2 Поверхностный сток с земель сельскохозяйственного назначения и методы его определения	27
1.3 Обзор нормативных актов в сфере определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком, действующих в России и за рубежом	44
1.3.1 Федеральные законы Российской Федерации, указы Президента и нормативные документы РФ и международных конвенций	45
1.3.2 Санитарные нормы и правила, гигиенические нормативы.....	54
1.3.3 Действующие ГОСТы и международные стандарты	61
2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ВОДНЫМ ОБЪЕКТАМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ И НАЗНАЧЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ	64
2.1 Анализ и оценка методов определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком.....	64
2.2 Анализ компенсационных мероприятий, обеспечивающих снижение поверхностного стока	76
3 КОНЦЕПЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОДНЫМ ОБЪЕКТАМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ.....	87
3.1 Стратегия определения и предотвращения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования.....	87
3.1.1 Приоритетные цели и задачи	88
3.1.2 Экологические и социально-экономические аспекты охраны поверхностных водных объектов	91
3.2 Поверхностный сток с земель сельскохозяйственного назначения	93
3.2.1 Основные методы изучения поверхностного стока и смыва почвы.....	93
3.2.1.1 Определение жидкого стока	95
3.2.1.2 Определение стока наносов	95
3.2.2 Выбор показателей поверхностного стока с земель сельскохозяйственного назначения.....	97
3.3 Современные и планируемые объемы применения удобрений и прогноз изменения состава поверхностного стока	97
3.4 Научно-методическое обеспечение нормируемых качественных и количественных показателей поверхностного стока и их воздействие на окружающую среду.....	102
4 ПРОГНОЗ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД	105
4.1 Научное обоснование разработки методики прогнозирования поверхностного стока талых вод, создающих угрозу затопления	106
4.1.1 Проблема затопления сельскохозяйственных угодий и возникновения чрезвычайных ситуаций на Юге России	106

4.1.2 Анализ методов составления прогноза поверхностного стока талых вод.....	106
4.2 Закономерности формирования весеннего поверхностного стока. Закон лимитирующих факторов стока.....	111
4.3 Модели формирования стока, прогноз и его практическое значение.....	125
5 РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ВОД И НАНОСОВ	127
5.1 Цель и задачи полевых исследований.....	127
5.2 Место проведения полевых исследований	127
5.3 Поверхностный сток талых вод с рыхлой и уплотненной пашни в зависимости от уклона, водно-физических свойств почвы, типа почвы, способов обработки почвы и выращиваемых культур	131
5.3.1 Результаты исследований жидкого стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни.....	131
5.3.2 Влияние водно-физических свойств почвы на сток талых вод и смыв почвы	137
5.3.3 Многокритериальный анализ влияния факторов на поверхностный сток талых вод с уплотненной и рыхлой пашни.....	158
5.3.4 Влияние уклона поверхности почвы и способов обработки на поверхностный сток талых вод и смыв почвы.....	162
5.4 Поверхностный сток ливневых вод с рыхлой и уплотненной пашни в зависимости от типа почвы, уклона поверхности, водно-физических свойств почвы, выращиваемых культур	165
5.4.1 Поверхностный сток ливневых вод с рыхлой и уплотненной пашни в зависимости от типа почвы, уклона поверхности почвы и водно- физических свойств почвы.....	166
5.4.2 Составляющие поверхностного стока: общая, жидкая и твердая фазы и смыв почвы поверхностным стоком	193
5.4.3 Влияние способов обработки почвы и пожнивных остатков на величину поверхностного стока	203
5.5 Влияние величины проективного покрытия поверхности почвы культурными растениями на сток	208
5.6 Почвоохранные мероприятия и компенсационные коэффициенты, снижающие объем поверхностного стока	234
5.7 Влияние способов основной обработки почвы на поверхностный сток и эрозию почвы.....	237
5.8 Влияние комплекса почвозащитных мероприятий на эрозию почвы на агрландшафтах Ростовской области	245
5.9 Вынос биогенных веществ с поверхностным стоком талых и дождевых вод.....	251
5.10 Предварительная оценка влияния поверхностного стока на качество воды в водоприемниках	283
5.10.1 Условия разбавления и распространения загрязняющих веществ в водоприемниках на примере Центральной и Приазовской агроклиматических зон Ростовской области	283
5.10.2 Использование дистанционных методов при определении смыва почвы, объемов поверхностного стока и экологического состояния агрландшафтов	295

6 КОММЕНТАРИИ К «МЕТОДИЧЕСКИМ УКАЗАНИЯМ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОДНЫМ ОБЪЕКТАМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ» И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗГРАНИЧЕНИЮ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА УЩЕРБ	278
6.1 Анализ и оценка положений проекта Методических указаний по определению ущерба от поверхностного стока по результатам исследований 1970–2015 годов.....	279
6.2 Комментарии к выбору субъектов для исчисления ущерба	280
6.3 Комментарии к методологии определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком по натурным наблюдениям	281
6.3.1 Коэффициент, учитывающий природно-климатические условия	282
6.3.2 Коэффициенты, учитывающие экологические факторы	282
6.3.3 Коэффициент индексации	283
6.3.4 Коэффициент социально-экономической значимости объекта.....	283
6.3.5 Таксы для исчисления размера вреда от сброса загрязняющих веществ.....	284
6.3.6 Коэффициент интенсивности негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект	284
6.3.7 Комментарии по расчету ущерба от заиления водных объектов	284
6.3.8 Комментарии к определению массы сброшенного вредного вещества.....	285
6.3.9 Методы определения массы загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком.....	287
6.3.10 Расчет массы загрязняющих веществ по натурным показателям для различных видов поверхностных водных объектов на одном водосборе.....	288
6.3.11 Точечные загрязнители	292
6.3.12 Комментарии к методике расчета массы поступления загрязняющих веществ в водные объекты по косвенным показателям	292
6.3.13 Комментарии к методам определения концентрации загрязняющих веществ в жидком стоке.....	298
6.4 Комментарии к применению компенсационных коэффициентов.....	299
7 КОММЕНТАРИИ К «МЕТОДИЧЕСКИМ УКАЗАНИЯМ ПО НАЗНАЧЕНИЮ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УЩЕРБА ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ»	302
7.1 Комментарии к методологии выбора и назначения компенсационных мероприятий по снижению поверхностного стока с земель сельскохозяйственного использования.....	302
7.2 Комментарии к системам компенсационных мероприятий на водосборах	304
8 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА УЩЕРБА.....	310
8.1 Модель расчета массы загрязняющего вещества по натурным показателям.....	310
8.2 Модель расчета ущерба от заиления	313
8.3 Модель расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами по косвенным показателям.....	315

8.4	Модель расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами по косвенным показателям.....	318
8.5	Модель расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка) по косвенным показателям.....	322
8.6	Модель расчета массы биогенного вещества в почве поля (участка) хозяйствующего субъекта по косвенным показателям.....	325
9	МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД В БАССЕЙНАХ РЕК ВОЛГА И ДОН	328
9.1	Общие положения	328
9.2	Нормативные ссылки	328
9.3	Термины и определения.....	329
9.4	Исходные данные	330
9.5	Методика прогноза величины (объема) поверхностного стока талых вод на водосборных бассейнах	332
9.6	Область применения и практическая реализация разработки	333
10	МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ВОДНЫМ ОБЪЕКТАМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ С ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	334
10.1	Назначение и область применения	334
10.2	Нормативные ссылки	335
10.3	Термины и определения.....	336
10.4	Общие положения	337
10.5	Порядок установления факта загрязнения водного объекта.....	338
10.6	Исчисление ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком.....	340
10.6.1	Методология исчисления ущерба.....	341
10.6.2	Исчисление ущерба от заиления водного объекта	342
10.6.3	Расчет массы сброса загрязняющих веществ в проточные и непроточные поверхностные водные объекты	343
10.6.4	Прогноз поступления загрязняющих веществ	344
10.6.5	Расчет массы поступления загрязняющих веществ по натурным показателям для различных видов водных объектов на одном водосборе.....	345
10.6.6	Расчет массы поступления загрязняющих веществ по косвенным показателям	347
10.7	Расчет выноса биогенных веществ поверхностным стоком с водосбора хозяйствующего субъекта.....	353
10.8	Расчет снижения объемов поверхностного стока и массы загрязняющих веществ от применения природоохранных компенсационных мероприятий.....	357
10.9	Разграничение ответственности землепользователей за ущерб, нанесенный поверхностным водным объектам.....	358
11	МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РАЗМЕРА УЩЕРБА ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ	360
11.1	Концепция назначения компенсационных мероприятий	360
11.2	Типизация земель	362
11.3	Проектирование первичных территориальных единиц агроландшафта	365
11.4	Элементы системы компенсационных мероприятий.....	370

11.4.1 Противозероизионная организация территории	370
11.4.2 Агротехнические приемы	376
11.4.3 Агролесомелиоративные насаждения	377
11.4.4 Лугомелиоративные приемы	380
11.4.5 Гидротехнические сооружения	381
11.5 Система компенсационных мероприятий	384
11.5.1 Система почвозащитных мероприятий для первой агроландшафтной полосы	385
11.5.2 Система почвозащитных мероприятий для второй агроландшафтной полосы	386
11.5.3 Система почвозащитных мероприятий для третьей агроландшафтной полосы	389
11.5.4 Компенсационные мероприятия на овражно-балочных землях	389
ПРИЛОЖЕНИЕ А Показатели и нормативы для расчета ущерба, наносимого водным объектам поверхностным стоком	391
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Примеры расчета ущерба, нанесенного водным объектам поверхностным стоком, и разграничение ответственности землепользователей за ущерб	400
ПРИЛОЖЕНИЕ В Параметры и величины разной вероятности функции превышения максимального водопоглощения на зяби и уплотненной пашне вне зоны снежных шлейфов лесополос	408
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Параметры максимального водопоглощения в лесных полосных насаждениях при подтоке талых вод	409
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Кривые вероятности превышения максимального водопоглощения при подтоке в насаждения в зависимости от почвенных условий и ширины насаждения	410
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Зависимость ширины лесных полос от типа гидротехнических сооружений и крутизны склонов	411
ПРИЛОЖЕНИЕ И Зональные осредненные величины весеннего максимального водопоглощения при различных способах усиления лесных полос	412
ПРИЛОЖЕНИЕ К Суммарное водопоглощение и слой сокращения полевого стока лесополосами в сочетании с канавами и валами при полевом стоке разной вероятности превышения и ширине лесополосы	413
ПРИЛОЖЕНИЕ Л Рекомендуемое соотношение видов угодий на крутосклонах в Европейской части РФ	414
ПРИЛОЖЕНИЕ М Ширина прирусловых лесных полос и число рядов в зависимости от состояния руслового берега	415
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	416

CONTENTS

INTRODUCTION.....	15
1 REVIEW OF LITERATURE ON PROBLEMS OF REDUCING SURFACE SNOWMELT, RAIN AND IRRIGATION WATER RUNOFF, EROSION DAMAGE ASSESSMENT METHODS AND COMPENSATORY MEASURES.....	16
1.1 Water resources of Russia and their status.....	16
1.2 Surface runoff from agricultural lands and methods of its determination.....	27
1.3 Review of Russian and foreign regulatory acts in the field of determining the damage to water bodies caused by surface runoff.....	44
1.3.1 Federal laws of the Russian Federation, decrees of the President of the Russian Federation and regulatory acts of the RF and international conventions.....	45
1.3.2 Public health regulations, hygienic standards.....	54
1.3.3 Current state standards (GOSTs) and international standards.....	61
2 ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE DAMAGE TO WATER BODIES BY SURFACE RUNOFF AND COMPENSATORY MEASURES.....	64
2.1 Analysis and evaluation of methods for determining the damage caused by surface runoff to water bodies.....	64
2.2 Analysis of compensatory measures ensuring the reduction of surface runoff.....	76
3 CONCEPT OF DETERMINING THE DAMAGE CAUSED BY SURFACE RUNOFF TO WATER BODIES.....	87
3.1 Strategy of assessment and damage prevention to the surface water bodies by agricultural runoff.....	87
3.1.1 Priority goals and objectives.....	88
3.1.2 Environmental and socio-economic aspects of the surface water bodies protection.....	91
3.2 Surface runoff from agricultural land.....	93
3.2.1 Basic methods for studying surface runoff and soil loss.....	93
3.2.1.1 Determination/definition of liquid runoff.....	95
3.2.1.2 Determination/definition of sediment runoff.....	95
3.2.2 The choice of parameters of surface agricultural runoff.....	97
3.3 Current and planned volumes of fertilizer use and forecast of changes in the composition of surface runoff.....	97
3.4 Scientific and methodological support of standardized quantitative and qualitative parameters of surface runoff and its impact on the environment.....	102
4 THE FORECASTING OF SURFACE MELT WATER RUNOFF.....	105
4.1 The scientific background of methods predicting melt water surface runoff posing a threat of flooding.....	106
4.1.1 The problem of farmland flooding and emergencies in the South of Russia.....	106
4.1.2 Analysis of methods of forecasting the surface melt water runoff.....	106
4.2 Regularities of formation of the spring surface runoff. The law of limiting runoff factors.....	111
4.3 Models of formation of runoff generating processes, its forecasting and its practical significance.....	125
5 THE FIELD RESEARCH RESULTS OF INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE SIZE AND QUALITY OF SURFACE WATER AND SEDIMENT RUNOFF.....	127

5.1	The purpose and objectives of the field research	127
5.2	Place of field research	127
5.3	The surface melt water runoff from the loose and compacted arable land, depending on the slope, water-physical properties of soil, type of soil, tillage methods and crops.....	131
5.3.1	The results of research of liquid melt water runoff from compacted and loose arable land.....	131
5.3.2	Influence of water-physical soil properties on melt water runoff and soil losses	137
5.3.3	Multi-criteria analysis of the influence of factors on the melt water runoff from the compacted and loose arable land.....	158
5.3.4	Influence of slope and soil tillage methods on melt water runoff and soil losses	162
5.4	Surface runoff of storm water from loose and compacted arable land, depending on the type of soil, surface slope, water-physical properties of the soil, crops	165
5.4.1	Surface runoff of storm water from loose and compacted arable land, depending on soil type, slope surface, water-physical properties of the soil.....	166
5.4.2	The components of surface runoff: common, liquid and solid phases and soil losses by runoff	193
5.4.3	Effect of tillage methods and crop residues on the amount of surface runoff.....	203
5.5	The influence of the value of the soil surface projective cover degree by crops on the runoff.....	208
5.6	Soil conservation measures and compensatory factors reducing the amount of surface runoff	234
5.7	Influence of ways of the basic soil cultivation on runoff and soil erosion.....	237
5.8	The effect of soil conservation measures complex on soil erosion on agricultural landscapes of the Rostov region	245
5.9	Removal of nutrients by melt and rain water runoff	251
5.10	A preliminary assessment of the impact of surface runoff on water quality in inlets/intakes.....	283
5.10.1	The terms of pollutants dilution and dispersion in the water intakes on the example of Central and Azov agro-climatic zones of the Rostov region	283
5.10.2	The use of remote sensing methods in determining soil loss, surface runoff volumes and environmental condition of agricultural landscapes.....	295
6	COMMENTS TO “METHODOLOGICAL GUIDELINES ON THE DETERMINATION OF DAMAGE CAUSED BY SURFACE RUNOFF TO WATER BODIES” AND PROPOSALS ON THE DIVISION OF LIABILITIES FOR DAMAGE.....	278
6.1	Analysis and evaluation of the thesis of the draft “Methodological guidelines on the determination of damage caused by surface runoff (the results of research 1970–2015 yrs)	279
6.2	Comments to the choice of subjects for damages assessment.....	280
6.3	Comments to the methodology for determining the damage to water objects caused by surface runoff (on field observations).....	281
6.3.1	The coefficient considering climatic and natural conditions	282

6.3.2	The coefficients considering environmental factors	282
6.3.3	The indexation coefficient	283
6.3.4	The coefficient of socio-economic importance of the object.....	283
6.3.5	Charges for calculating the extend of damage from the pollution discharge	284
6.3.6	The coefficient of intensity of negative impact of harmful (polluting) substances on the water bodies	284
6.3.7	Comments to the calculation of the damage caused by the silting (sediment) of water bodies.....	284
6.3.8	Comments to the determination of the mass of discharged harmful substances.....	285
6.3.9	Methods for determining the mass of pollutants released with surface runoff.....	287
6.3.10	The calculation of the mass of pollutants by the full-scale figures for different types of surface water bodies in the same catchment area.....	288
6.3.11	Point pollutants	292
6.3.12	Comments to the methodology of calculating the income of polluting substances into water bodies by indirect indicators.....	292
6.3.13	Comments to the methods of determining the concentration of contaminants in the liquid run off.....	298
6.4	Comments to the application of compensatory factors	299
7	COMMENTS TO “GUIDELINES ON APPLICATION OF COMPENSATORY MEASURES TO REDUCE DAMAGE FROM SURFACE RUNOFF”	302
7.1	Comments to the methodology of the selection and appointment of compensatory measures to reduce agricultural runoff.....	302
7.2	Comments to the systems of compensatory measures in catchments	304
8	AUTOMATED MODELS OF DAMAGE CALCULATION/ASSESSMENT	310
8.1	The model for the pollutant mass calculation by natural indexes	310
8.2	The model for calculating the damage caused by silting	313
8.3	The model for calculating the mass of pollutant, coming from the given field (area) with melt water by proxy indicators	315
8.4	The model for calculating the mass of pollutant, coming from this field (area) with rain water by proxy indicators	318
8.5	The model for calculating the mass of pollutant, coming with the reclaimed field (area) water by proxy indicators	322
8.6	The model for calculating the mass of nutrients in the soil of the field (area) of an economic entity by proxy indicators	325
9	METHODS OF FORECASTING THE SURFACE MELT WATER RUNOF IN THE BASINS OF THE VOLGA AND THE DON	328
9.1	General Provisions.....	328
9.2	Normative references.....	328
9.3	Terms and definitions	329
9.4	Basic data.....	330
9.5	The method of forecasting the values (volume) of surface melt water runoff on the catchments	332
9.6	Application area and practical implementation of development.....	333
10	GUIDELINES FOR DETERMINATION THE DAMAGE TO WATER BODIES BY AGRICULTURAL RUNOFF	334
10.1	Purpose and application area	334

10.2 Normative references.....	335
10.3 Terms and definitions.....	336
10.4 General provisions.....	337
10.5 The procedure for establishing the fact of water bodies pollution.....	338
10.6 Calculation of damage to surface water bodies by surface runoff.....	340
10.6.1 Methodology for damage calculation.....	341
10.6.2 Calculation of damage caused by the silting of water body.....	342
10.6.3 Calculation of the mass discharge of pollutants into the running flowing and non-flowing surface water bodies.....	343
10.6.4 Forecast of input of contaminants.....	344
10.6.5 Calculation of the mass of input of contaminants by natural indicators for different types of water bodies on the same catchment.....	345
10.6.6 Calculation of the input of contaminants by proxy indicators.....	347
10.7 Calculation of biogenic substances by surface runoff from the catchment area of an economic entity.....	353
10.8 Calculation of lowering the volumes of surface runoff and mass of contaminants from the use of environmental compensation measures.....	357
10.9 Differentiation of responsibility of land users for damage to surface water bodies.....	358
11 GUIDELINES FOR THE DESIGNATION OF COMPENSATORY MEASURES ON LOWERING THE AMOUNT OF DAMAGE FROM SURFACE RUNOFF.....	360
11.1 The concept of designating the compensatory measures.....	360
11.2 Land typification.....	362
11.3 Designing of the primary territorial units of cultivated land.....	365
11.4 Elements of the compensatory measures system.....	370
11.4.1 Soil-conservation – soil loss control organization of the territory.....	370
11.4.2 Agricultural practices.....	376
11.4.3 Reclamation afforestation.....	377
11.4.4 Meadow-improving practices.....	380
11.4.5 Waterworks.....	381
11.5 The system of compensatory measures.....	384
11.5.1 The system of soil protective measures for the first agrolandscape belt.....	385
11.5.2 The system of soil protective measures for the second agrolandscape belt.....	386
11.5.3 The system of soil protective measures for the third agrolandscape belt.....	389
11.5.4 Compensation activities on gullies and ravines lands.....	389
APPENDIX A Indicators and standards for the calculation of damage to water bodies by runoff.....	391
APPENDIX B Sample calculation of damage to water bodies by runoff, and division of responsibility of land users for damage.....	400
APPENDIX C Parameters and values of different probability functions exceeding the maximum water absorption on the fall plowed lands and compacted plough land outside the snow trails of forest belts.....	408
APPENDIX D Maximum water absorption parameters in forest belt plantations by inflow of melt waters.....	409

APPENDIX E The probability curves of exceeding the maximum water absorption at the inflow in stands depending on soil conditions and the stand width.....	410
APPENDIX F The dependence of the forest belts width on type of hydraulic structures and steep slopes.....	411
APPENDIX G Regional mean values of the maximum spring water absorption at various ways of forest belts strengthening.....	412
APPENDIX H Total water absorption and the field runoff reduction layer by forest belts combined with ditches and dams at field runoff of different exceedance probability and the forest belt width.....	413
APPENDIX I The recommended ratio of land species on steep slopes in the European part of Russia.....	414
APPENDIX J The width of riverine forest belts and the number of rows depending on the state of the channel bank.....	415
REFERENCES.....	416

ВВЕДЕНИЕ

Разработка эффективных мероприятий по сохранению плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, снижению объемов поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод с земель сельскохозяйственного назначения является одним из приоритетных направлений деятельности Минприроды и Минсельхоза России. Важность устранения причин деградации почв, в том числе снижения поверхностного стока и борьбы с водной эрозией отмечено во многих законодательных и нормативных документах российского и международного значения. Общеизвестно, что основными видами деградации почв являются физическая (ухудшение гидрофизических свойств почвы, нарушение почвенного профиля), химическая (ухудшение химических свойств, истощение запасов питательных элементов, вторичное засоление, загрязнение токсикантами) и биологическая (снижение видового биоразнообразия, нарушение оптимального соотношения почвенной микрофлоры и др.) [1].

На долю водной эрозии приходится 56 % деградации земель, ветровой – 28 %, химической – 12 % и физической – 4 % [2].

Эрозия представляет собой процесс механического разрушения почвы под воздействием поверхностного стока вод. Она начинается прежде всего там, где уничтожается растительный покров, выполняющий защитные функции [3].

На одном из последних заседаний Комиссии по экономическим вопросам при экономическом совете СНГ от 10 июня 2015 года в Москве рассмотрен вопрос «О борьбе с деградацией сельскохозяйственных земель в государствах – участниках СНГ». В решении Комиссии отмечается, что за последние 40 лет почти треть пригодных для возделывания территорий земного шара утратила свое плодородие и оказалась заброшенной [4]. Основной причиной деградации почв является эрозия. По данным Комиссии, на слабоэродированных черноземах Русской равнины снижение толщины гумусового горизонта почвы на 1 см уменьшает урожайность зерновых культур приблизительно на 1 ц/га. Полная и повсеместная компенсация потерь гумуса невыполнима из-за недостатка органических удобрений. С эрозией ежегодно теряется в 1,5 раза больше питательных веществ, чем вносится в виде минеральных удобрений. Смывается 30–50 % объема этих удобрений. Экологический ущерб причиняется искажением потоков твердого и растворенного вещества в ландшафтах, а вне непосредственного контакта с эродируемыми землями – множественными нарушениями природной среды при добыче, переработке и перевозке минеральных удобрений. Разрушение почвы проявляется в ее смывах и размывах, в образовании ручьев, оврагов и других отрицательных явлениях. Ежегодный смыв почвы с поверхности Земли достигает 134 т/км^2 , в Мировой океан смывается до 60 млрд т почвенного покрова.

Охрана почв сельскохозяйственного назначения регулируется Федеральным законом от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» [5]. В целом вопросы охраны земель определяет Федеральный закон от 25 марта 2001 г. № 136-ФЗ «Земельный кодекс Российской Федерации» [6].

Охрана водных объектов от поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод и наносов с земель сельскохозяйственного назначения является одной из основных проблем, стоящих перед человечеством, решение которой позволит сохранить чистыми водные объекты и плодородие почв для потомков.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ВОПРОСАМ СНИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ, ДОЖДЕВЫХ И ИРРИГАЦИОННЫХ ВОД, МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА ОТ ЭРОЗИИ И НАЗНАЧЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

1.1 Водные ресурсы России и их состояние

Россия – великая водная держава. По объемам запасов пресных водных ресурсов мы занимаем второе место в мире. У нас 2,5 млн рек и более 3 млн озер.

Российская Федерация принадлежит к числу государств, наиболее обеспеченных водными ресурсами. Среднемноголетние возобновляемые водные ресурсы России составляют 10 % мирового речного стока (второе место в мире после Бразилии) и оцениваются в 4,3 тыс. км³ в год. В целом по стране обеспеченность водными ресурсами составляет 30,2 тыс. м³ на человека в год [7].

Водные ресурсы Российской Федерации характеризуются значительной неравномерностью распределения по территории страны. На освоенные районы европейской части страны, где сосредоточено более 70 % населения и производственного потенциала, приходится не более 10 % водных ресурсов.

В маловодные годы дефицит воды наблюдается в районах интенсивной хозяйственной деятельности в бассейнах рек Дона, Урала, Кубани, Иртыша, а также на западном побережье Каспийского моря.

Основная часть речного стока России формируется в пределах ее территории, речные водные ресурсы располагаются по территории более или менее равномерно, уменьшаясь в южных равнинных районах Европейской части. Величина их на душу населения в субъектах Федерации зависит от численности и плотности населения, поэтому она существенно снижается в наиболее населенных районах Северного Кавказа, где составляет порядка 1800 м³ в год на человека. В этом районе водные ресурсы используются достаточно интенсивно, поэтому нередко отмечается нехватка воды, особенно в засушливые годы.

Характеристики водообеспеченности регионов России приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Удельная водообеспеченность экономических районов России (с учетом транзитных вод) [8]

Экономический район	Водообеспеченность, тыс. м ³ /год	
	на 1 км ² территории	на душу населения
Северный	349	90,6
Северо-Западный	455	11,6
Центральный	232	3,9
Центрально-Черноземный	125	2,7
Волго-Вятский	577	18,2
Поволжский	503	17,3
Северо-Кавказский	195	4,3
Уральский	157	6,6
Западно-Сибирский	241	44,7
Восточно-Сибирский	273	136
Дальневосточный	290	297
Россия в целом	250	28,5

В расчете на душу населения в нашей стране приходится около 30 тыс. м³ речного стока в год при среднемноголетнем значении речного стока на всей территории России 4271 км³ в год.

В России насчитывается 2220 больших, средних и малых водохранилищ с объемом от 1 млн м³ и более.

В Водной стратегии приведены сведения, что ресурсный потенциал подземных вод на территории Российской Федерации составляет почти 400 км³ в год [9].

Общее количество запасов подземных вод, пригодных для использования (питьевого и хозяйственно-бытового, производственно-технического водоснабжения, орошения земель и обводнения пастбищ), составляет около 34 км³ в год.

Обеспеченность территории Российской Федерации запасами подземных вод, которые могут использоваться для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, также неравномерна. Подземными водами, качество которых соответствует гигиеническим нормативам, недостаточно обеспечены Мурманская, Курганская, Омская, Новгородская, Ярославская области, отдельные районы Архангельской, Ростовской, Тюменской областей, Республика Калмыкия и Ставропольский край.

В Российской Федерации функционирует водохозяйственный комплекс, который является одним из крупнейших в мире и включает более 30 тыс. водохранилищ и прудов общим объемом свыше 800 км³ и полезным объемом 342 км³. Сеть каналов межбассейнового и внутрибассейнового перераспределения стока, водохозяйственных систем воднотранспортного назначения общей протяженностью более 3 тыс. км позволяет осуществлять переброску стока в объеме до 17 км³ в год.

Для обеспечения безопасности поселений, объектов экономики и сельскохозяйственных угодий от негативного воздействия вод возведено свыше 10 тыс. км дамб и других объектов инженерной защиты.

Общий объем забора (изъятия) водных ресурсов из природных водных объектов в Российской Федерации составляет 80 км³ в год.

В экономике ежегодно используется около 62,5 км³ воды.

Свыше 90 % общего объема использования водных ресурсов приходится на тепловую и атомную энергетику (37 %), агропромышленный комплекс (24 %), а также жилищно-коммунальное хозяйство (18 %), добывающую и обрабатывающую промышленность (12 %).

Основные водосборные бассейны России, дающие пространственное представление о распределении водных ресурсов, приведены на рисунках 1, 2 [8].

Водозабор из водоисточников составляет около 90 км³ в год, что составляет около 2 % от среднемноголетнего значения речного стока на всей территории России.

По данным Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года водоемкость валового внутреннего продукта Российской Федерации составляет около 2,4 м³/тыс. рублей, значительно превышая аналогичные показатели стран с развитой экономикой [9].

Основными факторами нерационального использования водных ресурсов являются:

- применение устаревших водоемких производственных технологий;
- высокий уровень потерь воды при транспортировке;
- недостаточная степень оснащенности водозаборных сооружений системами учета;
- отсутствие эффективных экономических механизмов, стимулирующих бизнес к активному внедрению прогрессивных водосберегающих технологий производства, систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения и сокращению непроизводительных потерь воды.

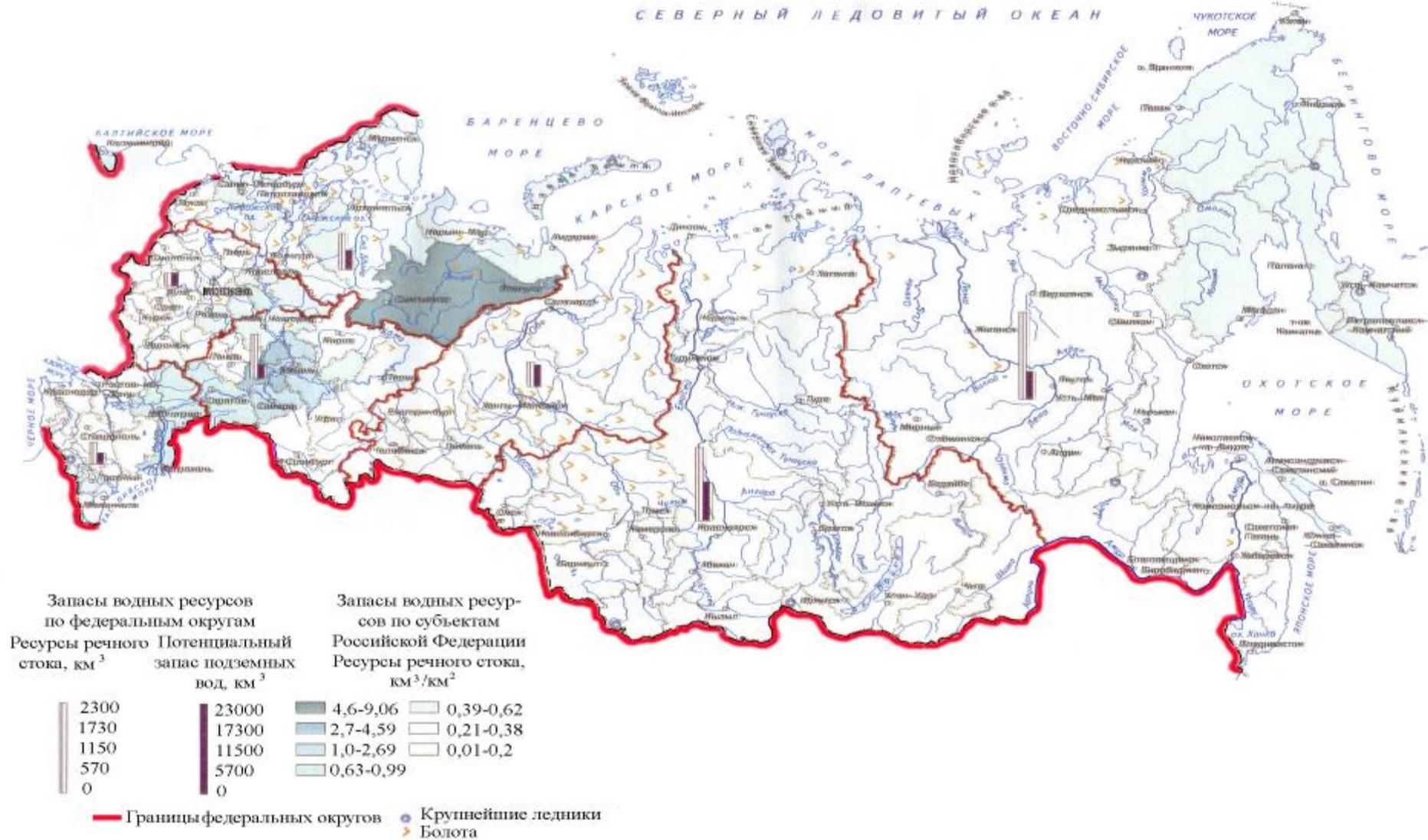


Рисунок 1 – Ресурсы поверхностных вод России

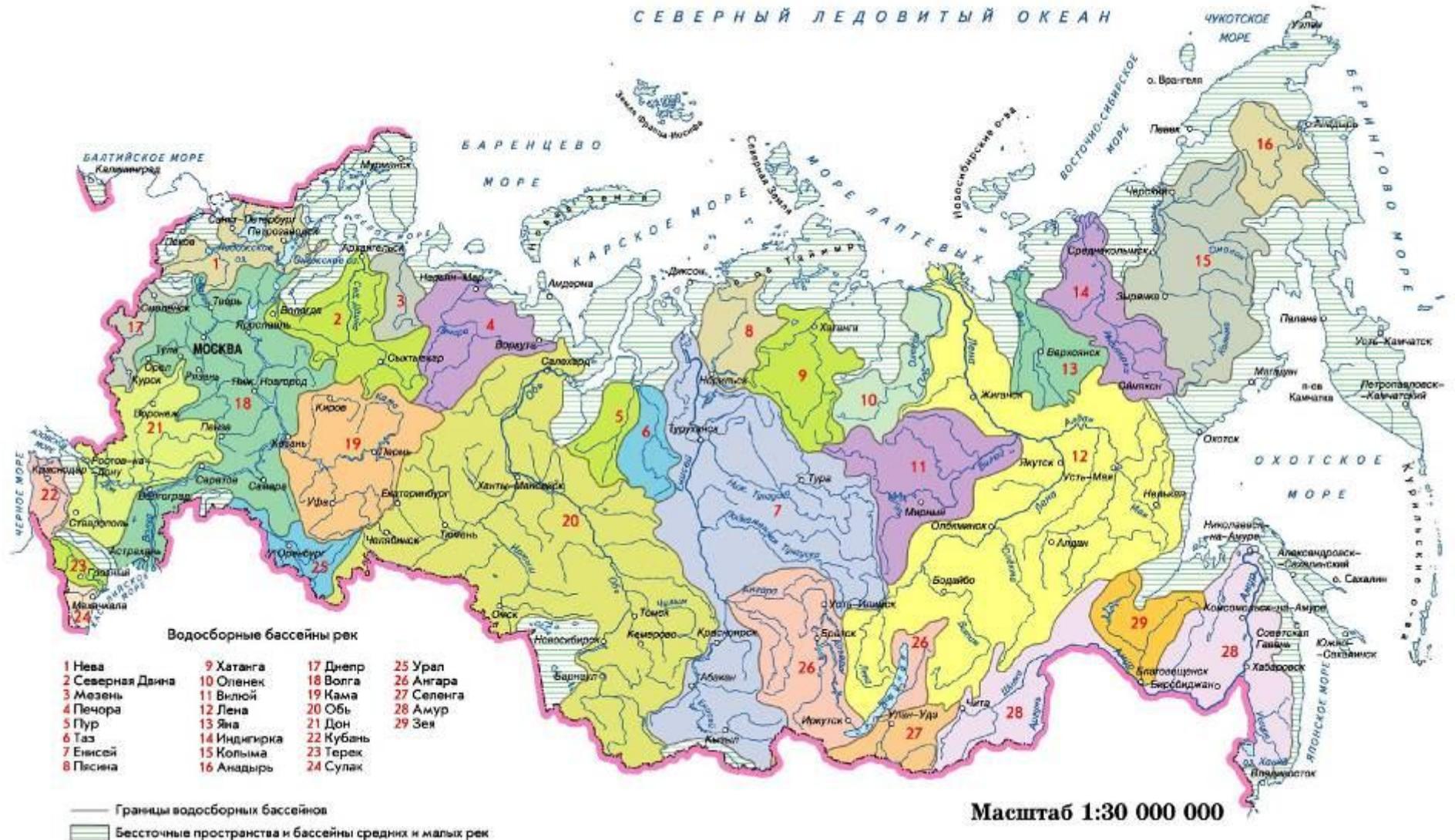


Рисунок 2 – Водосборные бассейны России

Объем потерь воды при транспортировке в Российской Федерации составляет до 8 км³ в год.

Свыше 4,8 км³ воды в год теряется в орошаемом земледелии из-за низкого технического уровня и значительной степени износа мелиоративных систем и гидротехнических сооружений, около 3 км³ в год, или более 20 % общего объема поданной в водопроводную сеть воды, теряется в системах централизованного водоснабжения из-за их неудовлетворительного технического состояния.

Основные показатели водопотребления и водоотведения за 1980–2002 годы приведены в таблице 2 [10], данные о водопользовании в России за период с 2003 по 2013 г. приведены в таблице 3 [11], показатели водопотребления за 2009 год – в таблице 4 [12].

Таблица 2 – Основные показатели водопользования в России за 1980–2002 гг.

Показатель, км ³	Год					
	1980	1985	1990	1995	2000	2002
Количество отчитывающихся водопользователей, тыс. объектов	32,4	44,7	48,6	53,9	51,3	50,1
Забор воды из природных источников для использования, всего	113,3	114,7	106,1	80,6	75,9	72,7
в том числе:						
из поверхностных источников	101,9	103,4	93,2	68,7	65,7	62,9
из подземных источников	11,4	11,3	12,9	11,9	10,2	> 9,8
Использовано свежей воды, всего	99,8	102,2	96,2	75,8	66,9	64,9
в том числе на нужды:						
хозяйственно-питьевые	11,7	13,9	14,6	14,2	13,6	13,6
производственные	64,4	61,6	54,1	39,7	38,8	38,2
из них питьевого качества	4,3	4,3	5,3	4,1	3,7	3,9
для орошения и сельхозводоснабжения	23,0	23,9	20,5	14,6	10,6	9,5
Расходы в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, всего	110,2	145,7	170,6	137,8	133,5	133,8
в том числе повторного и последовательного водоснабжения	–	12,5	9,8	6,7	6,4	6,4
Процент экономии воды за счет оборотного и последовательного водоснабжения	63	70	76	78	77	78
Потери при транспортировке	8,1	9,1	8,4	8,1	8,5	8,4
Водоотведение (сброс) в поверхностные водные объекты, всего	72,2	74,7	75,2	59,9	55,6	54,7
в том числе: сброс загрязненных сточных вод	15,4	12,0	27,8	24,5	20,3	19,8
из них:						
загрязненных без очистки	8,2	5,3	8,5	6,6	4,5	4,1
недостаточно очищенных	7,2	6,7	19,3	17,9	15,7	15,7
нормативно-чистых сточных вод	46,6	48,7	44,4	33,0	32,9	32,6
нормативно-очищенных сточных вод	10,2	14,0	3,2	2,3	2,4	2,3

Таблица 3 – Основные показатели водопользования по России за 2003–2013 гг.

Показатель, км ³	Год							
	2003	2005	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Общий забор воды (включая морскую) из природных водных объектов	82,4	79,5	80,3	75,4	79,0	75,2	72,1	69,9
в т. ч. водозабор для использования*, из него	66,7	69,3	59,5	64,7	69,7	66,3	63,9	61,0
поверхностных источников	–	60,2	61,0	56,6	61,8	68,4	66,1	53,2
подземных источников	–	9,1	8,5	8,2	8,0	7,9	7,8	7,75
Использовано свежей воды, всего*, в т. ч.	64,1	61,3	62,9	57,7	59,5	59,5	56,9	53,6
хозяйственно-питьевое	13,2	12,3	11,3	10,6	9,6	9,4	9,0	8,7
производственное	38,0	36,5	39,1	34,9	36,4	35,9	33,9	31,5
из них питьевого качества	–	3,7	3,5	3,3	3,8	3,2	2,7	2,6
для орошения, обводнения пастбищ и сельхозводоснабжения**	–	8,5	8,6	8,5	8,3	8,2	7,8	7,0
Расход воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения	135,6	135,5	143,5	136,8	140,7	141,6	142,3	138,5
Потери при транспортировке	8,4	8,0	7,8	7,5	7,7	7,2	7,5	7,0
Водоотведение (сброс) в поверхностные природные объекты, без транзитной воды, в т. ч. сброс:	52,3	50,9	52,1	47,7	49,2	48,1	45,5	42,9
загрязненных сточных вод, из них	19,0	17,7	17,1	15,9	16,5	16,0	15,7	15,2
без очистки	4,2	3,4	3,5	3,2	3,4	3,3	3,1	3,0
недостаточно очищенных	14,8	14,3	13,6	12,7	13,1	12,7	12,6	12,2
нормативно чистых сточных вод	31,1	31,0	33,0	29,8	30,8	30,3	28,1	26,0
нормативно-очищенных сточных вод	2,3	2,2	1,95	2,04	1,88	1,84	1,71	1,71
<p>* – Без учета откачиваемых и неиспользуемых шахтно-рудничных вод, транзитной воды для перераспределения стока и некоторых других видов водозабора для целей, не связанных с непосредственным водопотреблением (порядка 10 км³; с учетом морской воды (от 4 до 6 км³).</p> <p>** – Без учета воды, потребленной в прудово-рыбном хозяйстве.</p>								

**Таблица 4 – Показатели водопотребления и водоотведения
в Российской Федерации в 2009 г.**

Показатель, млн м ³	Всего по России	в том числе по разделам ОКВЭД		
		производство и распределение электроэнергии, газа и воды	сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	обрабатывающие производства
Забрано воды из водных объектов, всего	75401	41253	18184	5334
в том числе: пресной воды из поверхностных источников	60144	30564	17533	4591
воды из подземных источников	9771	5277	651	724
морской воды	5486	5412	0	19
Использовано воды, всего	57677	38380	9037	5171
в том числе на нужды:				
хозяйственно-питьевые	10606	8521	234	553
производственные	34913	29054	142	4457
орошения	7893	41	7623	36
сельскохозяйственного водоснабжения	527	38	409	12
прочие	3738	726	629	113
Потери при транспортировке	7477	2348	4485	92
Сброшено в поверхностные водные объекты, всего	47718	34625	3777	3964
в том числе:				
загрязненных	15854	8817	876	2733
нормативно-чистых	29828	24645	2896	852
нормативно-очищенных	2036	1163	5	379

Наименее обеспечены водными ресурсами Прикаспийская низменность и Северный Кавказ, причем последний в силу высокой плотности населения.

Всего в Российской Федерации в 2009 г. использовано 57,7 км³ свежей воды (в 2008 г. – 62,9 км³), в том числе: пресной из поверхностных источников – 45,2 км³ (49,7 км³), подземных – 7,0 км³ (7,3 км³), морской воды – 5,5 км³ (5,9 км³) (рисунок 3) [13].

Структура водопотребления характеризуется следующими показателями:

- производственные нужды – 60,5 %;
- хозяйственно-питьевые нужды – 18,4 %;
- орошение – 13,7 %;
- сельскохозяйственное водоснабжение – 0,9 %;
- прочие нужды – 6,5 %.

Потери воды во внешних сетях при транспортировке от водисточников до водопотребителей в 2009 г. составили 7,5 км³. Потери воды водопользователями по разделу ОКВЭД «Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство» составили 24,7 % от объема забранной воды, в основном для орошаемого земледелия.



Рисунок 3 – Водопользование в 2000–2007 гг.

Объем сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты в 2009 г., составил 47,7 км³ (таблица 5) [12]. К категории загрязненных отнесено 15,9 км³ сточных вод (33 % от общего объема). Основной объем загрязненных сточных вод сброшен водопользователями, относящимися к разделам ОКВЭД «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» (55,6 %) и «Обрабатывающие производства» (17,2 %).

Таблица 5 – Основные показатели использования воды в бассейнах водных объектов России в 2009 г.

Бассейн реки, озера	Забрано воды	Использовано воды	Сброшено сточных вод в поверхностные водные объекты				Мощность очистных сооружений перед сбросом в водные объекты
			всего	в том числе			
				без очистки	не достаточно очищенных	нормативно очищенных	
1	2	3	4	5	6	7	8
Северная Двина	792	756	709	34	483	13	1172
Печора	415	373	332	6	9	65	155
Нева	1243	1079	528	247	99	0	225
Ладожское озеро	1131	1107	1048	24	196	0	502
Днепр	584	541	283	7	194	23	459
Дон	5230	4949	3344	78	551	105	1474
Кубань	10183	3573	1868	272	206	9	515
Волга	21561	17858	14785	374	5688	800	13236
Урал	1859	1778	1727	132	247	0	453
Терек	4883	2976	172	14	116	4	179

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8
Обь	8597	7461	6791	509	1876	643	4542
Енисей	2962	2576	2602	168	807	132	2137
Лена	300	161	222	13	82	12	167
Амур	896	710	663	123	285	22	423
Озеро Байкал	496	424	399	1	47	8	107

Современное экологическое состояние водных ресурсов характеризуется существенным загрязнением поверхностных вод, особенно в Европейской части страны и в районах размещения крупных сельскохозяйственных комплексов. Загрязнение поверхностных водных объектов России в реках лесной зоны достигает наименьших значений. В тайге мутность поверхностных вод, как правило, менее 20 г/м^3 . Это объясняется тем, что лесные почвы обладают высокой инфильтрационной способностью, которая способствует образованию достаточно низкого поверхностного стока. Следующая немаловажная причина заключается в том, что почвенный покров лесной зоны хорошо предохраняет почву от размыва, в этой зоне слабо распространены пахотные земли, которые в наибольшей степени подвержены эрозионным процессам. В некоторых районах южной и дальневосточной тайги мутность повышается до 50 г/м^3 , а в отдельных районах и до 100 г/дм^3 .

Повышение мутности в пределах таежной зоны связано главным образом с линейной эрозией в руслах самих рек или вызвано условиями горного рельефа. Компенсационную роль здесь играют горные леса, тормозящие развитие эрозионных процессов.

По мере следования на юг загрязненность поверхностных вод повышается. С уменьшением влажности возрастает интенсивность процессов эрозии. Это характерно для лесостепной и степной зон, где мутность воды достигает 500 г/м^3 . Вполне очевидно, что это связано с большой площадью распаханности территории. На пахотных землях формируется высокий поверхностный сток, в основном потому, что почва на пашне плохо защищена от размыва.

В некоторых районах Южного федерального округа повышенная мутность воды (до 1000 г/м^3) обусловлена пересеченным рельефом, вызываемым интенсивными ливнями в сочетании с распространением легко размываемых лессовидных почвообразующих пород (например, в низовьях Дона).

В распространении минерализации поверхностных водных ресурсов на территории России также существует общая тенденция к увеличению минерализации воды на большей части Европейской территории с севера на юг и с запада на восток, а на Азиатской территории при движении с севера на юг с максимальной минерализацией воды в южной части Западной Сибири и Южного Приуралья. Это связано с большой увлажненностью водосборных территорий на севере, преобладанием там менее минерализующих воду тундровых, лесных и болотных почв, а также наличием обширных территорий вечной мерзлоты. К югу сухость климата возрастает, подзолистые почвы сменяются черноземными и каштановыми, развивающимися на засоленных в различной степени почвообразующих породах, что приводит к значительному росту минерализации поверхностных вод вследствие поверхностного стока.

Большинство поверхностных вод принадлежит к гидрокарбонатному классу. По составу катионов они почти все отнесены к кальциевой группе. Из вод гидрокарбонатного класса наибольшее распространение имеют воды малой минерализа-

ции. Они расположены на большей части севера Европейской и Азиатской территорий. Меньшую площадь занимают воды средней минерализации, распространенные в зонах лесов, лесостепей (средняя полоса Европейской территории). Еще меньшая площадь занята бассейнами рек с водами повышенной минерализации. Они распространены преимущественно на юге Европейской территории в зонах степей и полупустынь. Поверхностный сток, поступающий в поверхностные водные объекты, здесь формируется на черноземах, залегающих на плотных карбонатных породах с многочисленными вкраплениями солодей. Реки с водой сульфатного и хлоридного класса сравнительно малочисленны, но они превосходят по величине минерализации реки гидрокарбонатного класса.

В гумидных ландшафтах водные объекты многочисленны, но слабо минерализованы, и, наоборот, в аридных ландшафтах, вследствие развития поверхностного стока, поверхностные водные объекты сильно минерализованы.

В изменении химического состава и минерализации вод наблюдается определенная закономерность, отражающая последовательную смену ландшафтных зон, на которых формируется поверхностный сток, с севера на юг.

Наличие на севере страны почвенного покрова, представленного преимущественно почвами зон тундры, лесотундры и тайги, обуславливает формирование слабоминерализованных гидрокарбонатных вод.

По направлению к югу, в соответствии с изменением климатических условий и почвенного покрова (от почв таежной и лесной зон к почвам лесостепной, степной зон и далее к почвам полупустынь и пустынь), происходит формирование более минерализованного поверхностного стока, который способствует образованию минерализованных поверхностных вод со сложным химическим составом.

Зоны, характеризующиеся более высоким загрязнением поверхностных водных объектов тяжелыми металлами (медь, цинк, марганец, хром, никель), расположены на севере Европейской территории России и на Северном Кавказе. Соединения меди, железа, цинка, легкоокисляемых органических соединений, в том числе аммонийного и нитратного азота, являются наиболее распространенными загрязняющими веществами поверхностных вод, которые на протяжении многих лет преобладают в районах, характеризующихся развитым сельским хозяйством. Наиболее высокий уровень загрязненности воды поверхностных водных объектов наблюдается на юге Европейской территории России и отмечается: по нефтепродуктам, соединениям меди, железа и цинка, нитратному азоту (превышение от 10 до 100 ПДК); по легкоокисляемым органическим соединениям (превышение от 10 до 50 ПДК); по аммонийному азоту (превышение от 10 до 30 ПДК).

Ухудшение экологической обстановки на водосборах России оказывает негативное влияние не только на сезонное и внутрисезонное распределение речного стока, но даже в большей мере на качество воды в природных источниках, поскольку ухудшение состояния среды всегда снижает ее ассимиляционный потенциал.

В общем, распределение по территории страны загрязнения поверхностных вод носит вполне выраженный зональный характер. Причем естественные зональные черты распределения загрязнения превентивно усиливаются антропогенными факторами, обуславливающими вынос минеральных и органических веществ с сельскохозяйственных территорий.

Общие показатели сельскохозяйственного водопользования в России приведены в таблице 6 [14].

Серьезную проблему представляет вынос биогенов с сельскохозяйственных территорий за счет эрозии почвы и растворения. Повышенное поступление биогенов, особенно фосфора, ведет к эвтрофированию водных объектов.

Таблица 6 – Использование и загрязнение водных ресурсов сельским хозяйством России

Показатель	Год		
	1990	1995	2001
Использование свежей воды на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение, км ³	20,5	14,6	10,1
Объем сброса сточных и возвратных вод, км ³	13	10,2	5,5

Например, в процессе изучения состояния водного бассейна р. Оки учеными ВНИИГиМ [15] было установлено, что за счет смыва и нерационального использования минеральных удобрений в водные объекты поступает ежегодно от 400 до 500 тыс. т химических веществ. По обобщенным данным, с поверхностным стоком выносятся до 20 % азота, 5 % фосфора и до 70 % калия (от объемов внесения).

За последние 20 лет прошлого столетия поступление биогенных веществ с поверхностным стоком в водохранилища Волги и Днепра увеличилось в два раза. При этом доля сельхозудобий в поступление общего азота составляет 70 %, минерального фосфора – 36 %. Причина преимущественно сельскохозяйственного поступления биогенов в водоемы объясняется тем, что 50 % водных масс, поступающих в крупные водные объекты, формируются в агроландшафтах стоком малых рек, которые находятся в непосредственной зависимости от состояния агросистем [16].

Несмотря на приведенные выше факты, действующая в России система водного мониторинга не позволяет сделать надежного заключения о вкладе неточечных источников в загрязнение водных объектов. По мнению академика М. Г. Хубларяна, высказанному в 1997–1998 гг. [7, 17], но справедливому и на настоящий момент, в России до сих пор сохраняется явно ущербная, экологически опасная структура отчетности по водопользованию, когда «... невозможно получить исчерпывающее представление, откуда и как загрязняющие вещества поступают в водные объекты. Фактически не учитываются рассредоточенные источники загрязнения (сток с различных территорий, выпадения из атмосферы, загрязнения от водного транспорта и рекреаций), а также опасные аварийные и залповые сбросы. В этих условиях водохрана, ориентированная главным образом на очистку стоков коммунально-бытовых и промышленных предприятий, даже при огромных финансовых затратах не может обеспечить заметного улучшения качества воды».

Однако даже в тех случаях, когда удобрения в почву не вносятся, сельскохозяйственные поля и индивидуальные садово-огородные участки являются источниками выноса биогенных и взвешенных веществ. Это можно объяснить тем, что как поверхностным, так и внутрпочвенным стоком из почв агроэкосистем вымываются не только удобрения, но и питательные вещества, содержащиеся в почвах. Причем потери биогенных веществ самой почвой нередко превышают объемы вымываемых соединений из вносимых удобрений.

Наиболее значительные массы поллютантов поступают в весенний период, поскольку в это время коэффициент поверхностного стока достаточно высок (почва находится в замерзшем состоянии). В летний период сток биогенных веществ незначителен. Это объясняется благоприятными условиями, обеспечивающими хорошую фильтрацию влаги, а также активной жизнедеятельностью растений (водопотребление и поглощение питательных веществ). Величина твердого стока в летний период также ниже, чем в весенний, поскольку почва защищена растительностью.

К аналогичным негативным последствиям приводит несоблюдение норм и

регламентов при хранении минеральных удобрений. В общем объеме производства значителен удельный вес концентрированных, комплексных и гранулированных удобрений, содержащих в своем составе полный набор питательных элементов. При нарушении требований к транспортировке и складированию удобрений велика вероятность поступления биогенных веществ в водные объекты в результате смыва агрохимикатов талыми и ливневыми водами.

Определение на основе глобальных данных переноса азота в реках показало его резкое увеличение. Этот рост связан с удвоением площади сельскохозяйственных земель, развитием промышленности, производящей удобрения, и все большим внесением их в почву, ростом населения, а также с разрушением биомассы естественных экосистем, при котором в результате распада органики образуются растворимые соединения азота. В результате перенос азота реками удвоился, а во многих районах интенсивного сельского хозяйства он вырос в пять раз [7]. Многие реки в результате перегрузки тяжелыми металлами, пестицидами, органикой полностью потеряли способность к самоочищению, которое начинается не в русле, как это обычно считается, а на водосборе при формировании склонового поверхностного стока, и идет при участии растительности и почвенных организмов. Это исключительно важный этап самоочищения, так как во многих водосборах существенную роль в загрязнении воды играют сухие и мокрые атмосферные выпадения различных поллютантов. Это означает утрату важнейшей услуги – обеспечения и сохранения качества воды [18, 19].

Таким образом, водные ресурсы России огромны. Они широко используются в различных отраслях, но вместе с тем в результате производственной деятельности человека происходит ухудшение качества водных объектов, что влечет за собой необходимость применения дополнительных мер по очистке водных объектов и воды, используемой для различных целей. По имеющимся данным, основная доля загрязняющих веществ поступает в водные объекты с сельскохозяйственных угодий, поэтому необходимы дальнейшие исследования по разработке современной методики расчета ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования, и назначения компенсационных мероприятий при современном уровне и планируемом увеличении использования органических и минеральных удобрений.

1.2 Поверхностный сток с земель сельскохозяйственного назначения и методы его определения

Поверхностный сток с сельскохозяйственных территорий создает серьезные экологические проблемы, поскольку эти воды содержат опасные вещества, такие как нитриты, соединения фосфора, различные примеси в виде тяжелых металлов и других стойких неорганических и органических загрязнителей.

Различают три основных вида поверхностного стока: талых вод при снеготаянии, сток дождевых вод при выпадении ливней и сток поливной воды при орошении (ирригационный сток). Поверхностный сток переносит растворенные в воде вещества и часто вызывает эрозию почвы, что приводит к большим потерям гумуса и питательных веществ с сельхозугодий, снижает плодородие земель, загрязняет и заиляет водные объекты. При этом в гидрогеологии поверхностный сток принято делить на «сток воды» и «наносы» (растворенные вещества и мелкозем, песок, гравий и прочие), а в сельском хозяйстве чаще используют термины «сток воды» и «твердый сток» (вместо термина «наносы»).

Указанные виды стока различаются не только по генезису стока, но и по ме-

ханизму процесса, а также по величине причиняемого ими ущерба. К основным факторам, определяющим размер поверхностного стока (жидкого и твердого) в условиях развития эрозионных процессов, следует отнести:

- **климатические факторы.** Непосредственное влияние на размер стока оказывают суммарное количество осадков, их вид, продолжительность, интенсивность, а также время выпадения. Опосредованно на развитие поверхностного стока влияют температура, влажность воздуха, а также скорость и продолжительность ветра;

- **топографические факторы.** Рельеф суши не только определяет особенности формирования стока под воздействием талых и дождевых вод и связанных с ним процессов эрозии, но и закономерности смыва в поверхностные водные объекты загрязнителей;

- **почвенные и литологические факторы.** Свойства почв и грунтов определяют особенности формирования стока и, следовательно, эродирующую способность потока, а она, в свою очередь, – интенсивность эрозионных процессов и степень распространения загрязнения вдоль береговой линии;

- **биогенные факторы.** Растения оказывают многообразное влияние на процессы эрозии, изменяя гидрологический, биологический и химический режимы сельскохозяйственных территорий, на которых формируется поверхностный сток.

Проведенный А. Т. Барабановым анализ научных данных поверхностного стока показал, что величина стока снижается при продвижении на юг России от серых лесных почв до северо-приазовских (обыкновенных) черноземов. При этом на уплотненной пашне (посевы многолетних трав) темпы снижения стока примерно одинаковые, но на зяби в ЦЧО они несколько выше, чем в Поволжье и на Северном Кавказе [20]. Подробное изучение распределения стока по различным регионам позволило построить изолинии среднего стока (рисунок 4).

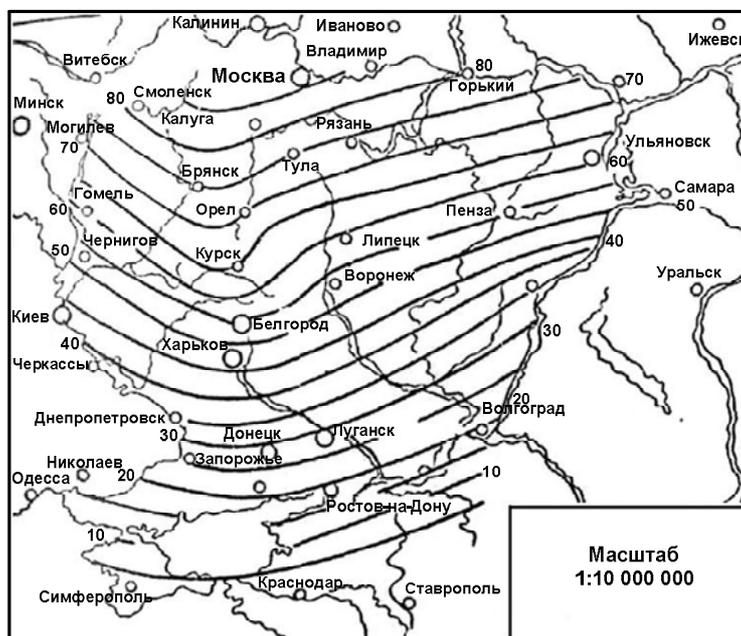


Рисунок 4 – Карта изолиний среднего поверхностного стока талых вод на уплотненной пашне (озимые, многолетние травы и др.)

Как показывают исследования А. Н. Каштанова и И. П. Свинцова, сток талых вод h_c зависит от свойств почв и зоны, в которых они расположены (таблица 7) [21].

Как видно из таблицы 7, сток талых вод, например на черноземах Алтайского края, составляет на пашне 108 мм, а в Ростовской области всего 22 мм.

Таблица 7 – Показатели среднего стока талых вод и при разной вероятности превышения стока талых вод с уплотненной пашни (I) и зяби (II)

Область (край), почва	Вероятность превышения, %											
	Агро-фон	1	10	30	50	70	90	95	99	C_v	C_s	h_c , мм
Алтайский, чернозем обыкновенный	I	285	205	145	110	70	15	0	0	0,7	1,1	108
	II	180	110	65	40	20	3	0	0	0,9	1,1	49
Орловская, серая лесная	I	180	95	50	30	15	1	0	0	1,0	1,7	40(67)
	II	150	80	40	25	10	0	0	0	1,2	1,4	31(44)
Курская, темно-серая лесная	I	200	120	80	55	35	15	8	0	0,7	1,2	63
	II	140	80	50	30	15	0	0	0	0,9	1,2	36
Курская, чернозем выщелоченный	I	215	135	85	60	30	2	0	0	0,8	0,8	63
	II	110	60	30	20	10	0	0	0	1,0	1,8	25
Воронежская, чернозем обыкновенный	I	160	95	60	40	30	15	10	5	0,7	1,5	49
	II	95	50	25	10	0	0	0	0	1,7	1,1	15
Куйбышевская, чернозем обыкновенный	I	150	95	60	45	30	15	10	2	0,7	1,2	49
	II	60	30	15	5	1	0	0	0	1,4	1,8	10
Саратовская, чернозем южный, темно-каштановая	I	140	85	50	35	20	2	0	0	0,8	0,9	39
	II	50	25	10	4	0	0	0	0	1,7	1,7	8
Волгоградская, каштановая	I	90	55	35	20	15	2	0	0	0,8	1,0	26
	II	40	20	10	4	0	0	0	0	1,4	1,6	7
Волгоградская, светло-каштановая	I	80	45	30	15	7	0	0	0	1,0	0,9	20
	II	40	20	8	3	0	0	0	0	2,0	1,5	5
Ростовская, чернозем обыкновенный (североприазовский)	I	135	60	30	10	4	0	0	0	1,3	2,4	22
	II	80	35	15	4	0	0	0	0	1,8	2,2	10
Примечание – В скобках указаны показатели стока без учета последних очень маловодных лет, за которые по другим пунктам исследований нет пока данных в литературе. C_v – коэффициент вариации; C_s – коэффициент асимметрии; h_c – сток талых вод, мм.												

Поверхностный сток приводит к эрозии почвы, от которого страдает не только сельское хозяйство, но и наносится большой вред водным ресурсам. Почва, смываемая с полей, откладывается в прудах, озерах, водохранилищах, попадает в каналы и реки. В некоторых случаях пруды полностью заиливаются в течение 10–15 лет. Количество наносов, транспортируемых рекой, зависит от интенсивности эрозии почв в ее бассейне и может достигать очень большой величины. Заиление водоемов и повышение мутности воды в реках затрудняет действие гидроэлектростанций, работу систем водоснабжения и водного транспорта, наносит ощутимый ущерб народному хозяйству, так как требуются дополнительные затраты на очистку и восстановление водных объектов и качества воды.

При достаточно большой продолжительности безморозного периода на Юге России в среднем ежегодно бывает от 12 до 55 дней с количеством осадков выше 10 мм, от 4 до 26 дней более 20 мм и до 17 дней – более 30 мм. Ежегодный суточный максимум в степной зоне составляет 40 мм. Один раз в 5–10 лет возможны суточные суммы осадков в 50–60 мм, в 40 лет – 60–80 мм. Дождевые максимумы до 130 мм имеют очень редкую повторяемость – примерно один раз за 80–100 лет, которые наблюдались в Ростовской области в 1977 году и в Краснодарском крае в 2002 году [22].

Интенсивность ливней в степной зоне наблюдается в среднем от 0,6 до 1,5–2,5 мм/мин. Намного выше интенсивность ливней в предгорной и горной зонах – до 5–6 мм/мин и на равнинной части при грозах.

В проявлении эрозионных процессов и распространении эродированных почв прослеживается зональность, которая определяется закономерными изменениями природных и антропогенных факторов эрозии. Так, для лесостепной и степной зон характерна максимальная степень освоенности территории. Особенно велика доля пашни на Среднерусской и Приволжской возвышенностях, на Северном Кавказе, включая Ростовскую область. Это обстоятельство, а также широкое распространение лессовидных покровных отложений с низкой противоэрозионной стойкостью, значительное количество осадков в эрозионно-опасный период, высокая расчлененность территории создали условия для максимального развития процессов водной эрозии.

Особенно высокие модули твердого стока характерны для Среднерусской, Ставропольской возвышенностей, районов Высокого Заволжья. Средний ежегодный смыв почвы с площадей пашни на Бугульминско-Белебеевской возвышенности колеблется в пределах от 10–25 до 40–50 т/га и процессами смыва охвачено до 50 %, а иногда до 75 % пашни. Во многих хозяйствах центральной лесостепи до 30–40 %, а иногда до 50 % пашни размещено на смытых почвах.

Анализ литературных источников показывает, что имеется достаточно данных многолетних наблюдений, дающих возможность рассчитать поверхностный сток и средние годовые потери почвы. При этом сбор и особенно интерпретацию такого рода материалов следует проводить с учетом размеров водосбора, так как величина смыва обратно пропорциональна водосборной площади. Это связано с тем, что значительная часть смываемой почвы не доходит до базиса эрозии, а отлагается по пути на нижних частях склонов, в балках, на пойме, а также в лесах, лесополосах и на лугах. Так, например, до малых рек и водоемов доходит 3–5 %, а в большие реки попадает лишь около 1 % смываемого материала. Поэтому с элементарного водосбора площадью 5–10 га потери почвы при прочих равных условиях будут в десятки раз больше, чем с водосбора площадью 100 км².

Это предполагает внесение в разрабатываемую методику компенсационных

противоэрозионных мероприятий (приводится далее) коэффициента добега, учитывающего удаленность участка от поверхностного водного объекта. Имеется довольно много разрозненных данных по величинам смыва почв за отдельные ливни или периоды снеготаяния в разных природных и хозяйственных условиях. В Центрально-Черноземных областях в пределах Среднерусской возвышенности среднегодовой объем смыва почвы составляет 7 т/га с колебаниями от 4 до 11 т/га. Средний многолетний смыв почвы в опольях Брянской области составляет 5 т/га, а непосредственно с эродированных участков пашни около 13 т/га в год и даже 15–20 т/га с некоторых полей и более.

Значительный вклад в загрязнение водных объектов вносят сельскохозяйственные угодья в основном за счет выноса биогенных и взвешенных веществ, вклад которых в загрязнение бассейнов может достигать более 90 %. Даже в лесной зоне, где сельскохозяйственная освоенность незначительная, поступление питательных веществ с сельскохозяйственных угодий вносит существенную лепту в загрязнение водных объектов. К примеру, в бассейне р. Туры и ее притоков с сельскохозяйственных угодий в поверхностные воды в среднем за год поступает 57 % азота и 33 % фосфора от общего их количества, обусловленного хозяйственной деятельностью [23].

Л. В. Литвин и З. П. Кирюхина [24] представили данные по потерям почвы и выносу биогенных элементов с пахотных земель ландшафтных зон России (таблица 8) [24].

Таблица 8 – Эрозионные потери почвы и вынос гумуса, соединений азота, фосфора и калия с пахотных земель ландшафтных зон России

Регион, зона	Масса смытой почвы, тыс. т	Вынос гумуса и валовых форм элементов питания							
		Интенсивность, кг/га				Масса, тыс. т			
		гумус	N	P	K	гумус	N	P	K
Европейская часть	436137	198	11,7	8,7	96,2	18674	1100	823	9056
в том числе лесная	140089	162	11,7	10,2	129,5	3379	246	213	2707
северо- и среднетаежная	15141	156	10,3	9,2	139,1	303	20	18	270
южнотаежная	124948	162	11,9	10,3	128,5	3076	226	195	2437
лесостепная	148772	215	12,3	8,3	94,0	6948	394	268	3039
степная	147276	204	11,2	8,4	81,0	8347	460	342	3310
Сибирь	130833	202	9,3	7,1	72,3	7692	356	271	2757
лесная	28407	208	12,7	8,5	103,0	1223	75	48	572
лесостепная	53092	216	9,4	6,9	66,6	3812	165	122	1175
степная	49334	178	7,8	6,6	67,7	2657	116	98	1010
Россия	566970	199	10,9	8,3	89,3	26366	1456	1094	11800

Наибольшие потери почвы и гумуса отмечены в лесостепной и степной зонах.

В таблице 9 представлен, по данным различных авторов, вынос по зонам азота и фосфора с 1 га сельскохозяйственных угодий.

Из представленных данных видно, что при орошении вынос питательных элементов, особенно азота, выше, чем на богаре.

Таблица 9 – Вынос азота и фосфора с 1 га сельскохозяйственных угодий в различных физико-географических условиях

Район исследований	Физико-географическая зона	Почва	Преобладающая культура	Вынос, кг/га	
				азот	фосфор
Орошаемые земли					
Ростовская область	Степная	Черноземы предкавказские, южные	Рис	2,2–22,5	0,17–1,10
		Лугово-черноземные	Зерновые	1,0–3,5	0,04–1,36
Дагестан	Степная	Луговые, солончаковые	Рис	20,5	0,50
Ставропольский край	Степная	То же	Виноград	4,5–10,5	0,03–0,04
Голодная степь. Узбекская ССР	Полупустыни	Сероземы, солончаки	Хлопок	9,1	0,04
Ташкентская область	Полупустыни	То же	Хлопок	3,05–7,50	–
Краснодарский край	Степная	Луговые	Рис	9,0–13,0	0,22
Неорошаемые земли					
Псковская область	Лесная	Дерново-подзолистые	Озимая рожь	1,04	0,36
		Супесчаные, суглинистые	Травы	3,98	0,09
Новгородская область	Лесная	Дерново-подзолистые	Луг	0,30	–
			Пашня	2,0	0,20
Ростовская область	Степная	Каштановые	Зерновые	2,0	0,03

Имеются различные данные по количеству смыва почв. Так М. С. Кузнецов и др. [25] отмечают, что при стоке воды и смыве почвы с пашни отчуждается от 10 % до 30 % вносимых удобрений и пестицидов. Они не только безвозвратно теряются, но и оказывают огромное негативное влияние на экологическое состояние территории, особенно на качество воды в реках, прудах, водохранилищах. Другие авторы подсчитали, что в практике земледелия бесполезно теряется до 30–50 % всех вносимых минеральных удобрений.

Из общего количества вносимых в пахотные земли минеральных удобрений только часть выносится с урожаем, остальное (до 30–50 %) – утрачивается, уходя в атмосферу за счет процессов денитрификации (до 20–30 %), или смывается и поступает в поверхностные и подземные природные воды (до 10–15 %), в частности, с каждого гектара пашни ежегодно уносится до 10 кг фосфора. Наряду с минеральными удобрениями в сельском хозяйстве широко используются органические, которые также со стоком смываются в реки [23]. Это подтверждают данные таблицы 10, в которой показан вынос азота и фосфора с мелиорируемых земель не только с поверхностным, но и дренажным стоком.

Многолетние травы сдерживают вынос азота с поверхностным стоком по сравнению с возделыванием зерновых и овощей в 20 раз [26].

Таблица 10 – Вынос азота и фосфора с поверхностным и дренажным стоком с мелиорированных земель, % внесенного количества (по данным ЦНИКВРа)

Возделываемая культура	Почва	Поверхностный сток		Дренажный сток	
		азот	фосфор	азот	фосфор
Зерновые и овощи	Суглинок	6,2	1,0	3,5	0,5
	Супесь	9,8	1,0	8,5	0,5
Многолетние травы	Суглинок	0,3	1,0	0,6	0,5
	Супесь	0,3	1,0	0,5	0,5

По расчетам Главного управления природных ресурсов и охраны окружающей среды по Воронежской области, только в р. Дон (площадь поверхности водосбора 45 тыс. км²) с поверхностными стоками в 2000 г. поступило 560 тыс. т взвешенных осадков, 89 тыс. т органических веществ, 1,7 тыс. т нефтепродуктов.

Среди источников поверхностного загрязнения водных объектов, расположенных на водосборах речных бассейнов, приоритетное место занимают сельскохозяйственные угодья вследствие их значительной пространственной рассредоточенности. В связи с этим, при оценке вклада различных источников в загрязнение гидросферы, особую актуальность приобретает оценка объемов веществ, поступающих в водные объекты с сельскохозяйственных угодий. Содержание взвешенных веществ в стоке, сбрасываемом в р. Дон в Лискинском районе Воронежской области, составляло 320–510 мг/л, органических – 40–64, соединений азота – 14,2, фосфора – 3,8 мг/л. В периоды весеннего половодья и летних дождевых паводков основными поставщиками биогенных веществ являются именно сельскохозяйственные угодья, которые дают 70 % биогенного загрязнения водотоков.

Концентрация загрязняющих веществ, смываемых в водотоки рек Воронеж, Усмань, Хава, Медведица с тальми водами, превышало нормы ПДК для рыбохозяйственных водоемов по органическим веществам от 15 до 40 раз, нефтепродуктам в 5–10 раз, соединениям азота и фосфора в 8–20 раз [27].

По данным В. Е. Райнина, Л. Б. Зимина-Шалдыбина, П. Ю. Лазич в бассейне реки Оки из-за смыва и нерационального использования минеральных удобрений в водные объекты выносятся 20 % азота, 5 % фосфора и до 7 % калия от общего объема внесения 1,4 млн тонн [15].

В то же время, по данным В. А. Мельникова и А. С. Демченко, вынос растворенного фосфора водами поверхностного стока во время весеннего половодья составляет менее 1 % и с твердым стоком до 3,2–4,6 % от количества применяемых удобрений [28].

Величина смыва почвы (черноземов обыкновенных) при стоке талых вод колеблется в широких пределах, но в большинстве случаев не превышает 3–10 т/га. Интенсивность смыва чаще всего совпадает с максимальным слоем стока. Так, в 1985 г. сток талых вод наблюдался с января по март пять раз. Максимальная его величина (на зяби 53,2 мм, на посевах многолетних трав 78,8 мм) пришлось на период весеннего снеготаяния с 14 по 20 марта, когда почва оттаяла с поверхности на 2–4 см. Смыв почвы составил за этот период более 31,0 т/га на зяби и 4,9 т/га на многолетних травах, в то время как в остальные периоды стока суммарная его величина была равна соответственно 8,4 и 1,6 т/га. Аналогичные результаты были получены в лесостепной и сухостепной зонах [29].

В условиях Северного Кавказа многолетние исследования по вопросам стока и эрозии проведены профессором Е. В. Полуэктовым. Он обобщил результаты ста-

ционных и маршрутных исследований, проведенных в Ростовской области, Краснодарском и Ставропольском краях, по количественной оценке потерь почвы от водной эрозии, по интенсивности ее протекания в зависимости от погодных условий, рельефа местности, вида обработки почвы, агрофона и др. [30].

По нашим данным [30], значительные потери почвы во время снеготаяния происходят в годы с критическими погодными условиями, которые повторяются два – три раза в 10–15 лет. Сюда, прежде всего, относятся годы, когда во время дружного снеготаяния выпадают в значительном количестве жидкие осадки. Именно такая ситуация сложилась в феврале 1977 г. и январе 2003 г. При глубине промерзания почвы 50–60 см и запасах воды в снеге 15–20 мм во время оттепели 12 и 13 февраля 1977 г. выпало в виде дождя 42 мм осадков, а в январе 2003 г. – 32 мм. Интенсивное таяние снега и дождь, при глубине оттаявшего слоя почвы 5–8 см, вызвали смыв почвы в больших размерах: на зяби 32–90 т/га, на посевах озимой пшеницы от 7 до 30 т/га.

Иная погодная ситуация, но с аналогичной потерей почвы может сложиться в том случае, когда почва промерзает на значительную глубину (до 60–100 см), а на ее поверхности к моменту снеготаяния сформировалась ледяная корка. Это случается тогда, когда оттепель среди зимы прерывается резким похолоданием (амплитуда температур может достигать 18–25 °С). Резкое колебание процессов замерзания и оттаивания почвы приводит к практически полной диспергации водонепроницаемой структуры в верхнем 0–5 см слое. Дружное снеготаяние весной при очень низкой водопроницаемости сопровождается интенсивным стоком талых вод, во время которого оттаявший и разжиженный верхний слой почвы легко уносится водой.

Анализируя в целом потери почвы от снеготаяния за период с 1973 по 2003 г., Е. В. Полуэктов отмечает, что с зяби, которая занимает 70 % от общей площади пашни, они составили около 8,2 т/га, а с посевов озимых культур (около 30 % площади пашни) – 3,6 т/га ежегодно [30].

Установлена зависимость между слоем стока талых вод и количеством смываемой почвы. При слое стока до 5 мм смыв почвы на зяби может колебаться от 0,2 до 2,0 т/га, на посевах озимой пшеницы не превышает 0,3 т/га. Увеличение величины стока до 20 мм заметно увеличило количество смываемой почвы на зяби до 5–11 т/га, на посевах озимых – до 5 т/га. Резкий скачок в усилении процессов смыва наблюдался при слое стока от 40 до 60 мм.

На зяби количество почвы, смываемой талыми водами, достигало 40–46 т/га; со склоновых полей, занятых озимой пшеницей, 10–12 т/га. Зависимость между слоем стока и величиной смыва почвы можно представить в виде уравнения регрессии:

- для зяби – $y=14+0,72 \cdot x$ при $r^2=0,47$;

- для посевов озимой пшеницы – $y=26+0,86 \cdot x$ при $r^2=0,49$.

К особенностям проявления процессов эрозии рассматриваемой территории относится зависимость величины смыва почвы от рельефа. Экспозиция склонов создает чрезвычайно сильные различия по количеству получаемого тепла. Она влияет на снегонакопление и интенсивность таяния.

Благодаря своему южному положению рассматриваемая территория получает много солнечного тепла. Зимой и в первый весенний месяц приход радиации (прямой и рассеянной) составляет 15–18 ккал/см². В результате чего на склонах световых экспозиций, которые к тому же являются ветроударными, снег испаряется непосредственно в воздух. Незначительная мощность снежного покрова и испарение в ясные дни ведет к образованию большого количества проталин. Все это заметно ослабляет сток талых вод и смыв почв во время массового снеготаяния.

Е. В. Полуэктовым установлено, что за период исследований, явно выражен-

ный солярный тип снеготаяния имел место в 1970, 1973, 1979, 1982, 1983, 1987, 1988, 1992, 1994, 1997 и 2003 гг. [30]. На склонах северной экспозиции снеготаяние протекает по теплообменному типу. Освобождение склонов от снега идет сверху вниз. Быстрое нарастание положительных температур при большем запасе воды в снеге сопровождается стоком талых вод и смывом почвы в гораздо большем объеме по сравнению со склонами световых экспозиций. Смыв почвы, выраженный через коэффициент, составил на склоне южной экспозиции 0,65, северной 1,35.

Смыв почвы по ложбинам и лощинам склонов противоположных экспозиций имеет свои особенности. Мощность снежного покрова и запасы воды в нем по ложбинам и лощинам значительно превосходят данные показатели межложбинных водоразделов. Особенно наглядно это проявляется на ветроударных склонах – восточной и юго-восточной экспозиций. В период зимних оттепелей днища ложбин оказываются более насыщены влагой, чем вторичные склоны и межложбинные водоразделы. Замерзание переувлажненной почвы резко снижает водопроницаемость при массовом снеготаянии. Сток талых вод на склоне северо-западной экспозиции в ложбинах был в 1,1–1,2 раза выше, чем на межложбинных склонах (таблица 11) [30].

Таблица 11 – Сток талых вод и смыв почвы в ложбинах и на межложбинных склонах (Ростовская область)

Год	Культура или агрофон	Запас воды в снеге, мм	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
1979	Межложбинный склон				
	Многолетние травы	24,3	21,4	0,88	0,1
	Ложбина				
	Многолетние травы	29,9	26,4	0,88	0,22
1980	Межложбинный склон				
	Многолетние травы	Нет данных	12,1	0,44	0,05
	Ложбина				
	Многолетние травы	32,4	15,9	0,49	0,01
1988	Межложбинный склон				
	Озимая пшеница	52,3	26,4	0,50	5,6
	Ложбина				
	Озимая пшеница	60,2	29,5	Нет данных	3,8

На склоне юго-восточной экспозиции, где разница снеготаяния в ложбинах и межложбинных склонах более существенна, сток талых вод в 1978 г. на зяби с межложбинных склонов составил 2,5–3,1 мм с 1 га, в то время как по ложбинам – от 6,1 до 8,3 мм. С ровного участка склона крутизной 3,5° стекло 5,1 мм талой воды, а по ложбине 12,4 мм. 14 и 15 марта 1981 г. перед весенним снеготаянием большая часть снега с межложбинных водоразделов была снесена сильными ветрами в микропонижения, ложбины, лесные полосы. Запасы воды в снеге по ложбинам 16 марта составили 18–27 мм, а на межложбинных водоразделах 4–7 мм. Сток талых вод наблюдался только по ложбинам, его величина 2,1 мм. В 1988 г. сток талой воды по ложбине составил 39,4 мм, на межложбинном склоне 26,7 мм. Более интенсивный сток по ложбинам на склонах световых экспозиций отразился на количестве уносимой водой почвы.

Ложбинность склонов способствовала концентрации поверхностного стока. Смыв почвы в руслах ложбин достигает значительных величин и составляет в отдельные годы до 40 % от общего количества смытой почвы на склонах (таблица 12).

**Таблица 12 – Смыв почвы по ложбинам на склоне юго-восточной экспозиции
(Ставропольский край, черноземы обыкновенные)**

Культура или агрофон	Год ис- следо- вания	Крутизна склона, в граду- сах	Смыв почвы по ложби- нам, м ³ /га	Характеристика водороев, см				Смыв почвы на склонах, м ³ /га	Характеристика водороев, см			
				ширина		глубина			ширина		глубина	
				min	max	min	max		min	max	min	max
Зябрь	1976	2	10,8	27	97	9	49	49,5	9	35	3	9
Озимая пшеница	1976	3,5	1,7	17	49	3	5	12,5	4	20	2	4
Зябрь	1977	2,5	14,3	29	113	16	52	61,5	5	69	2	8
Озимая пшеница	1977	4	5,3	30	180	4	6	32,0	2	36	1	5
Зябрь	1978	2,5	2,8	7	26	5	12	4,8	7	24	2	4
Озимая пшеница	1978	3,5	0,1	9	19	2	4	3,6	3	15	1	4
Зябрь	1986	3,5	4,7	12	27	3	15	10,5	4	29	1,5	5
Озимая пшеница	1986	3,5	4,9	8	29	4	6	11,9	3	31	2	3,7

Характеристика размывов по их ширине и глубине показывает, что водорои- ны в ложбинах значительно превосходили водороины на межложбинных склонах. Особенно глубокие (свыше 50 см) и широкие (до 200 см) водороины формирова- лись на полях с зяблевой обработкой. На посевах озимой пшеницы водороины в ложбинах были почти такими же, как и на межложбинных пространствах. Расти- тельный покров в значительной степени противодействовал размыву почвы.

Интенсивный смыв по ложбинам и лощинам усложняет структуру почвенно- го покрова, увеличивает его контрастность. Степень эродированности почвы по тальвегу ложбин и лощин на 1–2 градации ниже, чем вторичных склонов. В ре- зультате создается пестрота плодородия, что оказывает отрицательное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур.

Это подтверждается данными, полученными на каштановых почвах Ставро- польского края. При постоянном проведении обработок вдоль склона на поля про- тяженностью около 2000 м образовалось множество ложбин-промоин шириной до 7 м и глубиной до 100 см, уже не заравниваемых при обработке. Вынос почвы по этим промоинам составил в верхней части поля 117,0 м³/га, в средней – 147,2, в нижней – 142,5 м³/га [31].

Величина смыва при стоке талых вод существенно зависит от типа водосбо- ра [30]. Наблюдения за смывом почвы на водосборе рассеивающего типа, вклю- чающего склоны северной, западной и юго-западной экспозиции, показали, что в среднем за 21 год (1973–1993 гг.) он составил 7,5 т/га. На собирающем типе водо- сбора, охватывающем склоны северной, северо-западной, западной, юго-западной и южной экспозиций, величина смыва за этот период была в 1,5 раза выше – 11,3 т/га (таблица 13).

Таблица 13 – Смыв почвы на водосборах различного типа

Год	Культура или агрофон	Собирающий водосбор, т/га	Рассеивающий водосбор, т/га
1973	Зябь	0,7	0,1
1974	Зябь	0	0
1975	Озимая пшеница	1,2	0,7
1976	Зябь	62,4	39,6
1977	Зябь	63,6	48,7
1978	Озимая пшеница	6,9	3,7
1979	Озимая пшеница	24,3	15,6
1980	Зябь	16,7	12,8
1981	Озимая пшеница	3,1	1,3
1982	Зябь	0	0
1983	Зябь	0	0
1984	Озимая пшеница	0	0
1985	Зябь	39,6	21,5
1986	Зябь	10,2	7,1
1987	Озимая пшеница	5,9	3,9
1988	Зябь	0	0
1989	Зябь	0	0
1990	Многолетние травы	0	0
1991	Многолетние травы	1,6	0,6
1992	Многолетние травы	0	0
1993	Озимая пшеница	1,7	1,4

Данный тип водосбора насчитывал 12 ложбин, в то время как у рассеивающего их было 4, и те располагались в прибалочной части склона.

Если проанализировать интенсивность развития эрозионных процессов с водосборов в зависимости от степени уплотненности пашни (зябь и уплотненная пашня), то из взятого для наблюдений количества лет, в том случае, когда на водосборах была зябь, стока не наблюдалось 5 лет, а с уплотненной пашни (многолетние травы, озимая пшеница) – 3 года. Смыв почвы с собирающего типа водосбора с зяби в среднем за 6 лет составил 32,2 т/га, а рассеивающего в 1,5 раза меньше (21,6 т/га). В том случае, когда водосборы были заняты посевами озимых и многолетних трав, смыв почвы был существенно ниже: на собирающем – 6,4 т/га, рассеивающем – 4,0 т/га. Как видим, пропорции в соотношении величины смыва сохраняются.

Второй период эрозионных процессов приходится на теплую часть года, когда выпадают ливни. Ливневая эрозия при сравнительно небольшом объеме стока (8–17 мм) сопровождается потерей значительного количества почвы. Величина смыва во многом зависит от энергетических параметров дождя: интенсивности, размера капель, скорости их падения. Чем выше их значения, тем больше падающие капли вызывают физическое разрушение почвы, ухудшение ее агрофизического состояния. Водопроницаемость почвы резко снижается, в результате чего возникают потоки дождевых вод, обладающие сильной размывающей способностью.

Наши наблюдения за смывом почвы при выпадении ливней велись на всех культурах, но основное внимание уделим чистому пару, как агрофону, в наибольшей степени подверженному эрозии [30]. Формирование водороев на чистом пару начинает заметно проявляться на расстоянии 40–45 м от водораздела. Число их резко увеличивается при удалении от линии водосбора на 350–400 м на склонах крутизной 4° и более. Величина смыва здесь может достигать 30–45 т/га. Отдельные водороевы имели ширину до 70–150 см, а глубина их определялась наличием «культиваторной подошвы», т. е. глубиной последней культивации чистого пара. Обычно она не превышает 5–7 см. В результате культивации верхний обрабатываемый слой имеет плотность сложения 0,96–1,01 г/см, а с глубины «культиваторной подошвы» 1,20–1,23 г/см³. Потоки воды в средней и нижней частях склонов обладают значительной кинетической энергией, что приводит к смыву рыхлого верхнего слоя. На склонах крутизной 5° и более до «культиваторной подошвы» обнажаются участки чистого пара площадью от 2–4 до нескольких десятков квадратных метров.

В среднем за 31 год смыв почвы на склонах крутизной 0,5–1,5° составил 6,1 т/га; 3,5–4° – 40,2 и более 5° – 86,2 т/га. Сильное разрушение почвы на чистых парах наблюдалось в 1973 году, когда за два ливневых дождя общей суммой осадков 82,3 мм на склонах крутизной 3,5–4,5° было утрачено 100,6 т/га почвы. Такая же картина повторилась в 1987 и 2003 годах – смыв почвы в результате выпадения ливней составил соответственно 104,4 и 124 т/га.

Исходя из соотношения степеней эродированности почвенного покрова обыкновенных черноземов, в целом потери почвы с чистых паров на склоновых землях составляют 18,6 т/га. Несколько меньше (11 т/га) уносилось почвы ливневыми водами с посевов пропашных культур. Значительно снижался смыв на культурах сплошного сева, среди которых лучшим почвозащитным действием обладали многолетние травы.

Анализ величин смыва почвы от стока талых вод и при выпадении ливневых дождей показал: если условно разбить весь взятый период наблюдений на три равных отрезка времени 1973–1983, 1984–1993 и 1994–2003 гг., то получим следую-

щую картину. Смыв почвы на зяби (для сравнения взяты склоны 3–4°) весной в первый промежуток времени наблюдался в течение 5 лет из 11. Количество смытой почвы составило в среднем за годы со стоком 21,7 т/га, достигая максимума в 1977 году. На посевах озимой пшеницы смыв почвы фиксировался в течение 9 лет, его величина 4,7 т/га.

Во второй промежуток времени смыв почвы на зяби наблюдался два года (1985 и 1986). Средняя величина смыва составила 19,2 т/га, а за весь период 3,8 т/га. На посевах озимой пшеницы смыв почвы имеет место в течение 8 лет, а среднее количество смытой почвы составило 4,2 т/га. Если судить по этим данным, то за эти 10 лет эрозионных процессов, вызывающих какие-либо серьезные последствия, не возникало.

В период с 1994 по 2003 г. смыв почвы с зяби наблюдался в 1995, 1998 и 2003 гг. и колебался от 4,8 до 63,4 т/га, а его средняя величина – 7,8 т/га. На уплотненной пашне (посевы озимой пшеницы) смыв почвы в среднем за 6 лет составил 2,8 т/га. За последний промежуток времени четыре относительно теплые зимы 1999, 2000, 2001 и 2002 гг. без образования поверхностного стока были прерваны 2003 годом с экстремальным возмущением внешней среды. Сток талых вод с января по март формировался пять раз и суммарная его величина – 74,8 мм с двумя пиковыми значениями более 30 мм (январская оттепель плюс дождь суммой 31,6 мм и весеннее снеготаяние). Более 80 % от количества смытой почвы за весь период стока приходится на январскую оттепель.

Смыв почвы на чистом пару в среднем за 31 год составил 26,7 т/га. Причем за первый промежуток времени не было ливневых дождей в 1979, 1982, 1983 гг., в остальные годы смыв превысил 44 т/га. За второй отрезок времени смыв при выпадении ливней наблюдался в течение 9 лет. Его величина была равна 49,3 т/га, при среднем количестве за весь период 44,5 т/га. В третье десятилетие смыв почвы наблюдался в течение 8 лет в среднем составил 44,8 т/га.

Как следует из представленных данных, интенсивность эрозионных процессов с каждым десятилетием увеличивается. Наметившееся было затухание смыва почвы от стока талых вод, что связано, вероятно, с глобальным потеплением климата, компенсируется экстремальными зимами, когда на переувлажненную и замерзшую с поверхности почву выпадает значительное количество жидких осадков. Они и являются причиной больших потерь почвы со склоновых земель. Кроме этого, дегаумификация почв в результате интенсивной земледельческой деятельности сопровождается потерей противозерозионной устойчивости.

Наблюдения за смывом почвы на парах проведенные в районах Ставропольской возвышенности, показали, что после одного ливневого дождя он достигал 150–230 м³/га [31].

По данным авторов [32], полученным в Ставропольском крае, было установлено, что на величину водной эрозии от талых вод оказывают большое влияние способы основной подготовки почвы. На участках непромерзшей почвы на пологих склонах (уклон 0,5–2,0°) смыв почвы на вариантах поверхностных способов обработки почвы – плоскорезная обработка и дискование на 10–12 см – повышается по сравнению со вспашкой на глубину 22 см соответственно на 14 и 22 %.

Такая же закономерность наблюдалась при изучении стока при интенсивных ливнях в допосевной период (определялась на стоковых площадках при искусственном дождевании необходимой интенсивности и экспозиции). Полученные данные показали, что на пологих склонах с уклонами 0,5–2,0° по вспашке, где имеется более толстый слой рыхлой почвы, способный аккумулировать большее количество

воды, чем на поверхностных способах обработки, сток начинается при продолжительности ливня более 5 мин и интенсивности ливня более 5 мм/мин.

Масса смытой почвы зависит также от вида возделываемых растений. Посевы многолетних травосмесей оказались наиболее устойчивыми к водной эрозии по сравнению с зябью и даже целиной (пастбище). Если на многолетних травах масса смытой почвы не превышает 0,8 т/га, то по зяби эти показатели возросли от 1,39 т/га на луговых солончаковых почвах и до 3,32 т/га на черноземах сильносолонцеватых, т. е. в 4 раза. Сами травосмеси на разных почвах так же оказали влияние на величину смытой почвы. Наименьшая масса смытой почвы 0,14 т/га была на луговых черноземных почвах, на черноземах обыкновенных слабосолонцеватых она составила 0,19 т/га, и на луговых солончаковых и аллювиальных почвах – 0,21–0,27 т/га [32–36].

Смыв почвы при преобладании талых вод в Белоруссии составляет до 11 т/га [37, 38].

В Болгарии с обрабатываемых площадей ежегодно выносятся около 40 млн м³ почвы, а с ней 2,2 млн т гумуса; азот, фосфор и калий выносятся в таком количестве, которое содержится в 275 тыс. т минеральных удобрений. Расчеты показывают, что с 1 га выносятся 0,5 т/га гумуса и 0,06 т минеральных удобрений.

Из-за привноса мусора и других твердых стоков жизнь водохранилищ в Болгарии сокращается примерно в три раза по сравнению с проектом.

На распаханых склонах без террас среднегодовые потери почвы составляют 159,33 т/га, а на террасированных – 55,63 т/га [39].

В Венгрии, по данным И. Кристиана [40], годовая потеря почвы составляет 36 т/га, что при содержании 1,5–2 % перегноя соответствует 1,6 млн т гумуса. Годовая потеря гумуса равна тридцатикратному количеству стойлового навоза. Стойловый навоз содержит около 675 тыс. т NPK. Это составляет почти 50 % количества минеральных удобрений, используемых в сельском хозяйстве Венгрии.

В Польше наибольший экономический ущерб наносит поверхностная водная и овражная эрозии [41]. Эти виды эрозии наносят ущерб водному хозяйству и сокращают запасы воды в стране.

Наносится также ущерб мелиоративным сооружениям и водным объектам (озерам, прудам, водохранилищам). Например, в водохранилище в Рожкове на Дунае ежегодно задерживается около 1 млн м³ наносов.

По данным исследований, с территории Польши ежегодно уносится в море около 5 млн т почвы, а количество ее смытой со склонов и осевшей во рвах, оврагах и т. д. примерно в 20 раз больше. Количество питательных веществ, уносимых в море, составляет в среднем в пересчете на минеральные удобрения 60 тыс. т суперфосфата, 150 тыс. т 20%-й калийной соли, 70 тыс. т 25%-й селитры и 80 тыс. т 80%-й гашеной извести.

Серьезную проблему представляет вынос биогенов с сельскохозяйственных территорий за счет эрозии почвы и растворения веществ в воде. Повышенное поступление биогенов, особенно фосфора, ведет к эвтрофированию водных объектов (рисунок 5) [16].

В настоящее время признается, что интенсивно развивающееся сельское хозяйство является наиболее активным источником поступления биогенных элементов и других загрязняющих веществ в водные объекты. Международная комиссия по эвтрофированию водоемов сделала вывод, что поверхностные (рассредоточенные) источники играют более важную роль в загрязнении водных объектов биогенными элементами, чем городские сточные воды [16]. По данным В. Е. Райнина [15], загрязнение рек, протекающих по территориям с интенсивным земледелием и жи-

вотноводством, на 20–80 % связано с инфильтрационным, дренажным и поверхностным стоком с сельскохозяйственных полей и ферм, причем из общего объема среднегодового стока на долю поверхностного стока приходится до 80 %.



Рисунок 5 – Факторы эвтрофирования водоемов

В развитых странах эвтрофированию подвержены в той или иной степени почти все водные объекты, многие прибрежные участки морей (почти замкнутые), таких как Балтийское или Азовское.

В развивающихся странах преобладает преимущественно поверхностный сток с сельскохозяйственных полей особенно там, где осуществлен переход на использование интенсивных технологий (например, Китай и Индия), предполагающих большие дозы удобрений и средств защиты.

Анализ научной литературы показывает, что существуют разрозненные данные по содержанию биогенных элементов в поверхностных стоках и их выносе с сельскохозяйственных угодий. Их целесообразно, видимо, увязать с классификациями эрозионной опасности. Например, для повышения точности проектирования границ линейных рубежей сельскохозяйственные угодья по величине расчетного смыва, производимого стоком талых вод и ливневых дождей, группируются в семь классов эрозионной опасности [42]:

- I – незначительная (до 2,5 т/га);
- II – слабая (2,6–5,0 т/га);
- III – умеренная (5,1–10,0 т/га);
- IV – средняя (10,1–30,0 т/га);
- V – сильная (30,1–50,0 т/га);
- VI – очень сильная (50,1–70,0 т/га);
- VII – катастрофическая (> 70,0 т/га).

Эти классы земель объединяются в четыре агроландшафтные полосы:

- первая – занимает склоны крутизной от 0,5° до 2,5° (I и II классы эрозион-

ной опасности). Почвенный покров представлен незэродированными и слабоэродированными почвами в соотношении 40 % и 60 % от площади полосы;

- вторая – занимает склоны крутизной от 2,6° до 4,5° (III и IV классы эрозионной опасности). Почвенный покров представлен слабо- и среднеэродированными почвами в соотношении соответственно 60 % и 40 %;

- третья – занимает склоны крутизной более 4,5°. Сюда относят V и VI классы эрозионной опасности. Почвенный покров представлен средне- и сильноэродированными почвами (60 % и 40 %). К VII классу эрозионной опасности относятся слабо-незадернованные склоны балок, борта оврагов. Его условно можно отнести к четвертой ландшафтной полосе.

По ширине ландшафтные полосы существенно различаются между собой. Исходя из соотношения площадей смытых почв по почвенно-эрозионным зонам в Ростовской области можно примерно указать, что первая агроландшафтная полоса будет занимать 50–60 % поверхности склона, вторая – 30–35 %, третья – 10–15 % и четвертая до 3–5 %.

Границы агроландшафтных полос закрепляются рубежами 1-го порядка (стокорегулирующие, прибалочные лесные полосы, валы, канавы и т. д.). В пределах каждой агроландшафтной полосы проектируется система почвозащитных мероприятий, за основу которой берется инженерный расчет по задержанию стока талых вод определенной степени обеспеченности (чаще всего 10 %).

Агроландшафтные полосы являются исходной технологической градацией, так как они охватывают близкие по плодородию почвы, однородные по крутизне, экспозиции и форме склоны, имеют относительно одинаковые условия увлажнения и микроклиматические особенности. Поэтому они должны иметь строго определенный режим использования, набор сельскохозяйственных культур и приемов по стабилизации и повышению их плодородия.

Усиление сельскохозяйственной деятельности на водосборах имеет определенное влияние в части формирования величины стока и последующего качественного состава вод. На формирование поверхностного стока оказывает влияние ряд антропогенных факторов [43–48]:

- **трансформация структуры природных компонентов** произошла из-за вырубки лесных массивов, вовлечения в сельскохозяйственный оборот значительных пространств целинной степи, их распашки, мелиоративных мероприятий. Опасным источником загрязнения вод, особенно в период половодья и ливневых паводков, являются поверхностные стоки с сельскохозяйственных угодий. С полей, вместе с твердым и жидким стоком, выносятся биогенные элементы и пестициды. Мелиоративные мероприятия воздействуют на структуру почв, изменяется режим формирования дренажного стока не только на мелиорируемой территории, но и на прилегающих участках, что приводит к усилению водной и ветровой эрозии почв;

- **деградация почвенного покрова** происходит в результате водной эрозии, вторичного засоления, сокращения содержания гумуса в связи с уменьшением внесения органических и минеральных удобрений. Переуплотнение почвы тяжелой техникой приводит к перераспределению влаги в агроландшафте, уменьшая водопроницаемость почв и увеличивая поверхностную составляющую стока. Сплошные вырубки лесов усиливают заболачивание, сезонное промерзание почв;

- **активизация эрозионных процессов** связана с неправильным использованием почвы. Плоскостная (поверхностная) эрозия образуется на склоновых землях при стекании талых и дождевых вод. Линейная (овражная) эрозия возникает

при перераспределении поверхностного стока и образовании ручейков, следствием чего является образование оврагов. Процессы антропогенной эрозии появились как следствие вырубки лесов, неумеренного выпаса скота, распашки земель, особенно в водоохраных зонах водных объектов. Разрушение почвенного покрова, смыв почв с водосборов малых рек, образование оврагов приводит к выносу в ближайшие звенья гидрографической сети большого количества твердых наносов. Ущерб от эрозии почв связан с разрушением почв, выносом из них питательных элементов, с загрязнением и заилением водных объектов, что приводит к их антропогенному эвтрофированию;

- *техногенное загрязнение почв*. В условиях техногенного воздействия на водосборы почва выступает в качестве приемника загрязняющих веществ. При длительном воздействии загрязнений может быть превышена самоочищающая способность почв, что приводит к их загрязнению. При протекании по поверхности почвы потока воды (во время снеготаяния и дождей) загрязняющие вещества смываются, либо растворяются и поступают в поверхностные водные объекты. Источниками загрязнения поверхностного стока являются места хранения промышленной продукции и отходов производства и потребления, сельскохозяйственные угодья, на которых применяются удобрения и пестициды, промышленные площадки предприятий, поля фильтрации, объекты животноводства, хранилища удобрений и др. Из веществ, загрязняющих поверхностный сток, преобладают нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы, сульфаты, хлориды, соединения азота.

Для научно обоснованного планирования комплекса компенсационных мероприятий необходимо принимать во внимание все источники поступления загрязняющих веществ в водные объекты с поверхностным стоком.

Важнейшим инструментом управления качеством поверхностного стока является мониторинг. Система мониторинга включает наблюдения за качеством поверхностного стока и оценку фактического состояния водных объектов и прогнозирования изменения их состояния. Для этого необходимо иметь соответствующие математические модели стока для определения ущерба, наносимого водным объектам.

Опыт зарубежных стран показывает, что для различных агроклиматических регионов разрабатываются математические модели расчета поверхностного стока и расчета привноса веществ в водотоки. Например, в США для этих целей используется несколько программ, которые разработаны для каждого штата и для определенных почв и рельефа.

Так, в штате Джорджия (США) с легкосуглинистыми почвами широко используют известную математическую модель стока, разработанную Службой охраны почв при Министерстве сельского хозяйства, которая позволяет проводить расчеты и прогноз вероятности распределения поверхностного стока на сельскохозяйственном водосборе, объемов эрозии и поступления наносов и химических загрязнителей в водотоки [49].

Для условий равнинного водосбора в штате Флорида разработана математическая модель BASIN, которая предусматривает определение рассеивания стока и качества воды в потоке поверхностного стока через заболоченную пойму в основное русло и по нему к устью реки. Модель позволяет производить расчет стока с водосборов разной площади и давать прогноз на изменение качества воды при ее стоке с участков разного использования [50].

При планировании эксплуатации земельных и водных ресурсов все шире используют детальные модели водосборов. В провинции Онтарио используют непрерывную модель SPEAMS, которая позволяет прогнозировать возможное влияние

различных воздействий на режим водосбора. Здесь требуется применение многих переменных и параметров, однако увеличенный объем информации позволяет получить более точное описание исходных данных. Для моделирования использовались данные 20-летних наблюдений с 10 стоковых площадок с уклоном поверхности до 7,2–9 % [51].

Модель SPEAMS позволяет не только проводить расчеты стока и выносы веществ, но и сопоставлять экономические аспекты. Позволяет подбирать наиболее выгодные сочетания факторов, которые увеличивают экономическую отдачу от земли и вложенного труда и капитала, позволяют сохранить землю, уменьшить потери питательных веществ с полей и рекомендовать методы ведения сельского хозяйства [52].

В Лексингтонском университете штата Кентукки разработана другая математическая модель SEDCAD, которая позволяет прогнозировать воздействия ливневого стока на эрозию почвы и вынос наносов в водотоки, а также оперативно рассчитывать на ЭВМ эффективность альтернативных мероприятий по снижению стока [53].

Также за рубежом широко используются данные дистанционного зондирования при разработке моделей поверхностного стока с данной площади и расчета оп-ределения [54].

Такие модели создаются и в России, однако наша страна огромна, с большими географически удаленными пространствами и, естественно, с контрастными агроклиматическими условиями, почвенным покровом, гидрологией и прочими факторами, поэтому необходимо разрабатывать информационно-моделирующие комплексы (ИМК), учитывающие все эти факторы и позволяющие рассчитывать и прогнозировать объемы и качество поверхностного стока для различных условий России и для различных ситуаций.

Для формирования таких баз данных необходимы многолетние сведения по использованию земель, их качеству, структуре сельскохозяйственных угодий, внесению удобрений, по урожайности, величине и качестве поверхностного стока. На основе этих данных разрабатывается модель выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий и определяется ущерб, наносимый водным объектам.

1.3 Обзор нормативных актов в сфере определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком, действующих в России и за рубежом

Современное законодательство России в области охраны природных ресурсов подразделяется на такие направления, как земельное, водное, лесное, правовую охрану атмосферного воздуха и т. д. Законодательная база продолжает развиваться и приближаться к международному законодательству.

Природоресурсное законодательство традиционно устанавливает правовую регламентацию использования и охраны отдельных природных объектов. Другими словами, в основу классификации экологического законодательства ставится деление природной среды на природные объекты – земля, недра, воды, растительный и животный мир, атмосферный воздух и самостоятельное регулирование каждого из них.

В современной законодательной и нормативно-методической базах чаще используются термины «поверхностный сток», «сточные воды», «водоотведение», «охрана поверхностных и подземных вод», «ущерб, вызванный хозяйственной деятельностью человека» и другие, которые применяются авторами в данной монографии.

Обзор нормативных актов проводится по трем направлениям:

- федеральные законы Российской Федерации, указы Президента и нормативные документы РФ и международных конвенций;
- санитарные нормы и правила, гигиенические нормативы;
- действующие ГОСТы и международные стандарты.

Исполнителями приводятся названия нормативных актов, действующих в России и за рубежом, и собственные комментарии по статьям и пунктам, регламентирующим деятельность хозяйствующих субъектов по теме данной работы – определению ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком.

1.3.1 Федеральные законы Российской Федерации, указы Президента и нормативные документы РФ и международных конвенций

Основным Федеральным законом, регулирующим водное законодательство, от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ является *Водный кодекс Российской Федерации* [55]. Водное законодательство состоит из настоящего Кодекса, других федеральных законов и принимаемых в соответствии с ними законов субъектов Российской Федерации.

В статье 1 приводятся определения, наиболее близкие к проблематике поверхностного стока. Таковыми можно считать дренажные и сточные воды, а также водоотведение.

Согласно статье 3, одним из приоритетных принципов водного законодательства считается охрана водных объектов перед и после их использования, т. е. использование водных объектов не должно оказывать негативного воздействия на окружающую среду.

В статье 5 определено, что к поверхностным водным объектам относятся:

- моря или их отдельные части (проливы, заливы, в том числе бухты, лиманы и другие);
- водотоки (реки, ручьи, каналы);
- водоемы (озера, пруды, обводненные карьеры, водохранилища);
- болота;
- природные выходы подземных вод (родники, гейзеры);
- ледники, снежники.

Поверхностные водные объекты состоят из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии.

Статьями 8–10 регулируются отношения на право собственности и иные права на водные объекты.

Для сброса сточных вод и (или) дренажных вод, согласно статье 11, предоставляются водные объекты в пользование на основании договора водопользования или решения о предоставлении водного объекта в пользование, однако не рассматривается ситуация для прудов и обводненных карьеров.

В соответствии с пунктом 3 статьи 22, решение о предоставлении водного объекта в пользование в целях сброса сточных вод и (или) дренажных вод дополнительно должно содержать:

- указание места сброса сточных вод и (или) дренажных вод;
- объем допустимых сбросов сточных вод и (или) дренажных вод;
- требования к качеству воды в водных объектах в местах сброса сточных вод и (или) дренажных вод.

Статьями 24–36 регулируются отношения управления в области использо-

вания и охраны водных объектов, а в статьях 30, 31, 33 имеются позиции по интересующему вопросу. Так, в статье 30, пункт 5 государственный мониторинг водных объектов включает наблюдения за водохозяйственными системами, в том числе за гидротехническими сооружениями, а также за объемом вод при водоотведении.

Статья 31 содержит требование, согласно которому в государственный водный реестр включаются документированные сведения об использовании водных объектов, в том числе о водоотведении. Схемами комплексного использования и охраны водных объектов, согласно статье 33, устанавливаются лимиты и квоты сброса сточных вод, соответствующие нормативам качества, в границах речных бассейнов, подбассейнов, водохозяйственных участков при различных условиях водности в отношении каждого субъекта Российской Федерации.

Статья 35 предполагает разработку и установление нормативов допустимого воздействия на водные объекты и целевых показателей качества воды в водных объектах, а именно по подпунктам 1–3 соответственно:

- поддержание поверхностных и подземных вод в состоянии, соответствующем требованиям законодательства, обеспечивается путем установления и соблюдения нормативов допустимого воздействия на водные объекты;

- нормативы допустимого воздействия на водные объекты разрабатываются на основании предельно допустимых концентраций химических веществ, радиоактивных веществ, микроорганизмов и других показателей качества воды в водных объектах;

- количество веществ и микроорганизмов, содержащихся в сбросах сточных вод и (или) дренажных вод в водные объекты, не должно превышать установленные нормативы допустимого воздействия на водные объекты.

Статьей 36 устанавливается государственный контроль и надзор за использованием и охраной водных объектов, в том числе, согласно пункту 5, государственные инспектора имеют право предъявлять физическим и юридическим лицам требования о проведении необходимых мероприятий по охране водных объектов и по организации контроля за соответствием сточных вод нормативам допустимого воздействия на водные объекты и воздействием сточных вод на них.

Согласно статье 37, сброс сточных вод и (или) дренажных вод входит в цели водопользования.

В обязанности собственников водных объектов, приведенных в статье 39, пункт 2, входит ведение в установленном порядке учета объема забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов и объема сброса сточных вод и (или) дренажных вод, их качества, регулярные наблюдения за водными объектами и их водоохранными зонами, а также представление бесплатно и в установленные сроки результатов такого учета и таких регулярных наблюдений в уполномоченный Правительством Российской Федерации федеральный орган исполнительной власти.

Статья 44 регулирует отношения при использовании водных объектов для целей сброса сточных вод и (или) дренажных вод, подпункты данной статьи содержат следующие положения:

- 1 Использование водных объектов для целей сброса сточных вод и (или) дренажных вод осуществляется с соблюдением требований, предусмотренных настоящим Кодексом и законодательством в области охраны окружающей среды.

- 2 Запрещается сброс сточных вод и (или) дренажных вод в водные объекты:

- содержащие природные лечебные ресурсы;
- отнесенные к особо охраняемым водным объектам.

3 Запрещается сброс сточных вод и (или) дренажных вод в водные объекты, расположенные в границах:

- зон, округов санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения;
- первой, второй зон округов санитарной (горно-санитарной) охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов;
- рыбоохранных зон, рыбохозяйственных заповедных зон.

4 Сброс сточных вод и (или) дренажных вод может быть ограничен, приостановлен или запрещен по основаниям и в порядке, которые установлены федеральными законами.

Пункт 6 статьи 56 устанавливает, что сброс в водные объекты сточных вод, содержание в которых радиоактивных веществ, пестицидов, агрохимикатов и других опасных для здоровья человека веществ и соединений превышает нормативы допустимого воздействия на водные объекты, запрещается.

Пункт 1 статьи 58 определяет, что несанкционированный сброс сточных вод на ледники, снежники, а также засорение ледников, снежников отходами производства и потребления, загрязнение их нефтепродуктами, ядохимикатами и другими вредными веществами запрещаются.

Пункты 3 и 6 статьи 60, регулирующие отношения в области охраны водных объектов при проектировании, размещении, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию, эксплуатации водохозяйственной системы, устанавливают требования, соответственно:

- не допускается ввод в эксплуатацию объектов, предназначенных для орошения и удобрения земель сточными водами, без создания пунктов наблюдения за водным режимом и качеством воды в водных объектах;
- при эксплуатации водохозяйственной системы запрещается:

1) осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке, обезвреживанию (исходя из недопустимости превышения нормативов допустимого воздействия на водные объекты и нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах), а также сточных вод, не соответствующих требованиям технических регламентов;

2) осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, в которых содержатся возбудители инфекционных заболеваний, а также вредные вещества, для которых не установлены нормативы предельно допустимых концентраций.

Согласно статье 61 пункта 3, при орошении, в том числе с использованием сточных вод, качество которых соответствует требованиям нормативов допустимого воздействия на водные объекты, осушение и другие мелиоративные работы должны проводиться одновременно с осуществлением мероприятий по охране окружающей среды, по защите водных объектов и их водосборных площадей.

В статье 65 устанавливаются требования к водоохраным зонам и прибрежным защитным полосам, а пункт 15 настоящей статьи запрещает в границах водоохраных зон использовать сточные воды для удобрения почв.

Федеральный закон от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» [56] регулирует отношения в области организации, охраны и использования особо охраняемых природных территорий в целях сохранения уникальных и типичных природных комплексов и объектов, достопримечательных природных образований, объектов растительного и животного мира, их генетического фонда, изучения естественных процессов в биосфере и контроля за изменением ее состояния, экологического воспитания населения.

Пункт 1 статьи 2 настоящего Федерального закона различает следующие категории особо охраняемых природных территорий:

- государственные природные заповедники, в том числе биосферные;
- национальные парки;
- природные парки;
- государственные природные заказники;
- памятники природы;
- дендрологические парки и ботанические сады;
- лечебно-оздоровительные местности и курорты.

Пункт 3 статьи 2 устанавливает, что в целях защиты особо охраняемых природных территорий от неблагоприятных антропогенных воздействий на прилегающих к ним участках земли и водного пространства могут создаваться охранные зоны или округа с регулируемым режимом хозяйственной деятельности.

Все особо охраняемые природные территории учитываются при разработке территориальных комплексных схем, схем землеустройства и районной планировки, согласно пункту 4 статьи 2.

Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [57] направлен на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения как одного из основных условий реализации конституционных прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду.

Полномочия Российской Федерации в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения регулируются статьей 5 и включают:

- ведение государственных регистров потенциально опасных для человека химических, биологических веществ и отдельных видов продукции, радиоактивных веществ, отходов производства и потребления, а также отдельных видов продукции, ввоз которых впервые осуществляется на территорию Российской Федерации;
- обеспечение санитарной охраны территории Российской Федерации.

Согласно статье 6, в полномочия субъектов Российской Федерации входит обеспечение своевременного информирования населения субъекта Российской Федерации о состоянии среды обитания.

В статье 12 указывается, что при размещении объектов сельскохозяйственного назначения и установления их санитарно-защитных зон, должны соблюдаться санитарные правила.

В статье 13, пункт 2, уточняется, что производство, применение (использование) и реализация населению новых видов продукции (впервые разрабатываемых или внедряемых), новые технологические процессы производства продукции допускаются при наличии санитарно-эпидемиологических заключений о соответствии их санитарным правилам.

Санитарно-эпидемиологические требования к потенциально опасным для человека химическим, биологическим веществам и отдельным видам продукции приводятся в статье 14, в которой имеется ссылка на санитарные правила *СП 1.2.1170-02 «Гигиенические требования к безопасности агрохимикатов»*, утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 23 октября 2002 г. [58].

Санитарно-эпидемиологические требования к водным объектам, изложенные в статье 18, пунктами 1, 2, 4, устанавливают следующее:

- водные объекты, используемые в целях питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, купания, занятий спортом, отдыха и в лечебных целях, в том числе

водные объекты, расположенные в черте городских и сельских поселений (далее – водные объекты), не должны являться источниками биологических, химических и физических факторов вредного воздействия на человека;

- критерии безопасности и (или) безвредности для человека водных объектов, в том числе предельно допустимые концентрации в воде химических, биологических веществ, микроорганизмов, уровень радиационного фона устанавливаются санитарными правилами;

- для охраны водных объектов, предотвращения их загрязнения и засорения устанавливаются в соответствии с законодательством Российской Федерации, согласованные с органами, осуществляющими государственный санитарно-эпидемиологический надзор, нормативы предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты, нормативы предельно допустимых сбросов химических, биологических веществ и микроорганизмов в водные объекты.

Статья 21 содержит санитарно-эпидемиологические требования к почвам, в пункте 1 которой говорится, что в почвах сельскохозяйственных угодий содержание потенциально опасных для человека химических и биологических веществ, биологических и микробиологических организмов, а также уровень радиационного фона не должны превышать предельно допустимые концентрации (уровни), установленные санитарными правилами.

Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [59] регулирует отношения, возникающие при осуществлении деятельности по обеспечению безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, вводе в эксплуатацию, эксплуатации, реконструкции, восстановлении, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений, устанавливает обязанности органов государственной власти, собственников гидротехнических сооружений и эксплуатирующих организаций по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений. Настоящий Федеральный закон не содержит позиций, близких к вопросу поверхностного стока, однако учитывает возможность заиливания искусственных водоемов.

Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель» [60] устанавливает правовые основы деятельности в области мелиорации земель, определяет полномочия органов государственной власти, органов местного самоуправления по регулированию указанной деятельности, а также права и обязанности граждан (физических лиц) и юридических лиц, осуществляющих деятельность в области мелиорации земель и обеспечивающих эффективное использование и охрану мелиорированных земель.

Так, в статье 18 в основные направления деятельности соответствующих федеральных органов исполнительной власти и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области мелиорации земель входят:

- организация учета и проведение мониторинга мелиорированных земель;
- контроль за состоянием мелиорированных земель.

В статье 21 говорится, что мониторинг мелиорированных земель является составной частью государственной системы мониторинга земель и представляет собой систематические наблюдения за состоянием мелиорированных земель. На основе этих наблюдений выявляются происходящие изменения в состоянии мелиорированных земель и дается их оценка.

Согласно статье 25, мелиорация земель проводится на основе проектов, разработанных в соответствии с технико-экономическими обоснованиями и учитывающих строительные, экологические, санитарные и иные стандарты, нормы и правила.

Статья 30 регулирует отношения в сфере строительства на мелиорируемых (мелиорированных) землях объектов и проведение других работ, не предназначенных для мелиорации земель, и определяет, что эти работы не должны ухудшать водного, воздушного и питательного режимов почв на мелиорируемых (мелиорированных) землях, а также препятствовать эксплуатации мелиоративных систем, отдельно расположенных гидротехнических сооружений и защитных лесных насаждений.

Статья 32 регламентирует, что осуществление мелиоративных мероприятий не должно приводить к ухудшению состояния окружающей природной среды.

Мелиоративные мероприятия осуществляются с соблюдением требований земельного, водного, лесного законодательства Российской Федерации, а также законодательства Российской Федерации об охране окружающей природной среды, о недрах, о растительном мире и о животном мире.

Согласно статье 40, граждане (физические лица) и юридические лица обязаны возместить ущерб, причиненный ими в результате нарушения законодательства Российской Федерации в области мелиорации земель, в порядке, установленном гражданским законодательством Российской Федерации.

Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» [61] регулирует отношения в области экологической экспертизы, направлен на реализацию конституционного права граждан Российской Федерации на благоприятную окружающую среду посредством предупреждения негативных воздействий хозяйственной и иной деятельности на окружающую природную среду.

Согласно статье 3, в основные принципы экологической экспертизы входят:

- презумпция потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности;
- обязательность проведения государственной экологической экспертизы до принятия решений о реализации объекта экологической экспертизы;
- комплексность оценки воздействия на окружающую природную среду хозяйственной и иной деятельности и его последствий;
- обязательность учета требований экологической безопасности при проведении экологической экспертизы;
- научная обоснованность, объективность и законность заключений экологической экспертизы.

Постановление Правительства РФ от 11 июня 1996 г. № 698 «Об утверждении Положения о порядке проведения государственной экологической экспертизы» [62] устанавливает порядок проведения государственной экологической экспертизы, осуществляемой Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации и его территориальными органами в соответствии с Федеральным законом «Об экологической экспертизе», иными нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации.

В разделе 1, пункт 4, приводятся обязательные условия принятия материалов на государственную экологическую экспертизу при наличии в них (в составе разделов объекта экспертизы или в виде приложений) данных по оценке воздействия на окружающую природную среду намечаемой хозяйственной и иной деятельности и экологическому обоснованию допустимости ее реализации.

Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2006 г. № 801 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов» [63] устанавливает в соответствии

с Водным кодексом Российской Федерации порядок осуществления государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов.

Постановление Правительства РФ от 21 декабря 1999 г. № 1410 «О создании и ведении Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении» [64] устанавливает порядок создания и ведения Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении. Основная его задача – накопление и сохранение информации о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении в целях обеспечения такой информацией отраслей экономики, Вооруженных Сил Российской Федерации и населения страны.

Единый государственный фонд данных представляет собой упорядоченную, постоянно пополняемую совокупность документированной информации о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении, получаемой в результате деятельности Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, других заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, их территориальных органов, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, физических и юридических лиц независимо от их организационно-правовой формы в области гидрометеорологии и смежных с ней областях (метеорологии, климатологии, агрометеорологии, гидрологии, океанологии, гелиогеофизики), мониторинга состояния окружающей природной среды, ее загрязнения.

Единый государственный фонд данных составляют документы, содержащие информацию общего назначения и специализированную информацию в области гидрометеорологии и смежных с ней областях. Информация общего назначения относится к федеральным информационным ресурсам в области гидрометеорологии и смежных с ней областях.

Постановление Правительства РФ от 23 ноября 1996 г. № 1404 «Об утверждении Положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах» [65]. Согласно пункту 1 положения, водоохранной зоной является территория, примыкающая к акваториям рек, озер, водохранилищ и других поверхностных водных объектов, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира.

Соблюдение специального режима на территории водоохранных зон является составной частью комплекса природоохранных мер по улучшению гидрологического, гидрохимического, гидробиологического, санитарного и экологического состояния водных объектов и благоустройству их прибрежных территорий.

В пределах водоохранных зон устанавливаются прибрежные защитные полосы, на территориях которых вводятся дополнительные ограничения природопользования.

В связи с введением нового Водного Кодекса были пересмотрены показатели ширины водоохранных зон.

Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления» [66]. Нормативы платы за выбросы представлены в двух приложениях. Приложение 2 устанавливает нормативы платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы за-

грязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления.

Указ Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» [67] устанавливает позиции с целью осуществления последовательного перехода Российской Федерации к устойчивому развитию, а также руководствуется программными документами, принятыми на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.). Основными моментами концепции, согласно рассматриваемому вопросу, можно считать охрану окружающей среды и обеспечение экологической безопасности.

В первом разделе концепции говорится, что богатства природы, ее способность поддерживать развитие общества и возможности самовосстановления оказались не безграничными.

Устранение сложившихся противоречий возможно только в рамках стабильного социально-экономического развития, не разрушающего своей природной основы. Улучшение качества жизни людей должно обеспечиваться в тех пределах хозяйственной емкости биосферы, превышение которых приводит к разрушению естественного биотического механизма регуляции окружающей среды и ее глобальным изменениям.

Однако переход к устойчивому развитию нельзя осуществить, сохраняя нынешние стереотипы мышления, пренебрегающие возможностями биосферы и порождающие безответственное отношение граждан и юридических лиц к окружающей среде и обеспечению экологической безопасности.

В третьем разделе, рассматривающем задачи, направления и условия перехода к устойчивому развитию, одним из основных направлений считается оценка хозяйственной емкости локальных и региональных экосистем страны, определение допустимого на них антропогенного воздействия.

Также предполагается, что переход к устойчивому развитию требует строгого соблюдения ряда ограничений, следовать которым будет нелегко, особенно на начальных этапах. Это, в частности, осуществление хозяйственных мероприятий преимущественно на уже освоенных территориях и отказ от реализации любых проектов, которые наносят невосполнимый ущерб окружающей среде, или экологические последствия которых недостаточно изучены.

Раздел четвертый затрагивает проблемы, решаемые в каждом регионе, которые в значительной степени должны соответствовать федеральным задачам, но при этом необходим учет местных особенностей, предусматривающий, в частности:

- развитие сельского хозяйства на основе экологически прогрессивных агротехнологий, адаптированных к местным условиям, реализацию мер по повышению плодородия почв и их охране от эрозии и загрязнения, а также создание системы социальной защиты сельского населения;

- реконструкцию региональной промышленной системы с учетом хозяйственной емкости локальных экосистем.

В разделе пятом подчеркивается, что механизмы разработки и принятия решений должны быть ориентированы на соответствующие приоритеты, учитывать последствия реализации этих решений в экономической, социальной, экологической сферах и предусматривать наиболее полную оценку затрат, выгод и рисков с соблюдением следующих критериев:

- никакая хозяйственная деятельность не может быть оправдана, если выгода от нее не превышает вызываемого ущерба;

- ущерб окружающей среде должен быть на столь низком уровне, какой толь-

ко может быть разумно достигнут с учетом экономических и социальных факторов.

В соответствии с разделом шесть, одними из приоритетов России в международном сотрудничестве являются:

- активное участие в международных научных программах по проблемам устойчивого развития и в разработке мер, способствующих нормализации антропогенного воздействия на биосферу;

- создание эффективных механизмов обеспечения межгосударственного экологического паритета при решении вопросов о трансграничном переносе вредных веществ.

Согласно разделу семь, одним из этапов развития предусматриваются основные структурные преобразования в экономике, технологическое обновление, существенная экологизация процесса социально-экономического развития. На этом этапе экологическое благополучие территории страны обеспечивается прежде всего за счет рационализации использования богатого природного потенциала России и снижения его относительных затрат на душу населения.

Указ Президента РФ от 4 февраля 1994 г. № 236 «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития» [68] разработан с целью обеспечения государственной стратегии действий Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития, в соответствии с документами Конференции ООН по окружающей среде и развитию.

Согласно основным положениям государственной стратегии, основные направления деятельности по обеспечению экологически безопасного устойчивого развития включают экологически безопасное развитие сельского хозяйства и неистощительное использование возобновляемых природных ресурсов.

В целях создания условий, позволяющих реализовать конституционное право граждан на жизнь в благоприятной окружающей среде, предусматриваются основные направления деятельности, одним из которых является создание для людей здоровой среды обитания в городских и сельских поселениях.

Конвенция о трансграничном воздействии промышленных аварий (Хельсинки, 17 марта 1992 г.) [69] применяется в отношении предотвращения промышленных аварий, обеспечения готовности к ним и ликвидации последствий аварий, которые могут привести к трансграничному воздействию, включая воздействие аварий, вызванных стихийными бедствиями, а также в отношении международного сотрудничества, касающегося взаимной помощи, исследований и разработок, обмена информацией и технологией в области предотвращения промышленных аварий, обеспечения готовности к ним и ликвидации их последствий.

Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 17 марта 1992 г.) [70] в статье 1 определяет, что «Трансграничное воздействие» означает любые значительные вредные последствия, возникающие в результате изменения состояния трансграничных вод, вызываемого деятельностью человека, физический источник которой расположен полностью или частично в районе, находящемся под юрисдикцией той или иной стороны, для окружающей среды в районе, находящемся под юрисдикцией другой стороны. К числу таких последствий для окружающей среды относятся последствия для здоровья и безопасности человека, флоры, фауны, почвы, воздуха, вод, климата, ландшафта и исторических памятников или других материальных объектов или взаимодействие этих факторов; к их числу также относятся последствия для культурного наследия или социально-экономических условий, возникающие в результате изменения этих факторов.

Согласно статье 2, стороны принимают все соответствующие меры для предотвращения, ограничения и сокращения любого трансграничного воздействия, а управление водными ресурсами осуществляется таким образом, чтобы потребности нынешнего поколения удовлетворялись без ущерба для возможности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности.

В статье 5 определены основные направления исследований и разработок. Стороны сотрудничают в проведении исследований и разработок в области эффективных методов предотвращения, ограничения и сокращения трансграничного воздействия. В этих целях стороны, с учетом научно-исследовательской деятельности соответствующих международных форумов, стремятся на двусторонней и (или) многосторонней основе осуществлять или активизировать в случае необходимости конкретные научно-исследовательские программы, направленные, в частности, на:

- разработку методов оценки токсичности опасных веществ и вреда загрязнителей;
- повышение уровня знаний о присутствии, распространении и воздействии на окружающую среду загрязнителей и соответствующих процессов;
- разработку и применение экологически обоснованных технологий, методов производства и структур потребления;
- поэтапное прекращение производства и применения и (или) замену веществ, которые могут оказывать трансграничное воздействие;
- разработку экологически обоснованных методов удаления опасных веществ;
- разработку специальных методов улучшения состояния трансграничных вод;
- разработку экологически обоснованных методов строительства водохозяйственных объектов и способов регулирования водного режима;
- физическую и финансовую оценку ущерба, возникающего в результате трансграничного воздействия.

При всей обширности законодательной базы Российской Федерации и множества рассматриваемых ею моментов, вопрос поверхностного стока не нашел исчерпывающего пояснения. Наиболее близкими моментами к проблематике поверхностного стока можно считать пояснения, связанные с водоотведением, охраной поверхностных и подземных вод, ущерба, вызванные хозяйственной деятельностью.

1.3.2 Санитарные нормы и правила, гигиенические нормативы

Санитарные правила и гигиенические нормативы устанавливают гигиенические требования по предотвращению неблагоприятного воздействия различных видов хозяйственной и иной деятельности, которые могут привести к ограничению использования водных объектов для питьевых, хозяйственно-бытовых и лечебных целей, а также определяют порядок контроля качества подземных вод.

Санитарные правила СП 2.1.5.1059-01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения» [71], согласно разделу 1, пункту 1.1, устанавливают санитарные правила и нормативы к охране подземных вод.

Раздел 2, пункт 2.4, предусматривает систему мер, обеспечивающих санитарную охрану подземных вод, в которую входит:

- регламентирование различных видов хозяйственной или иной деятельности, оказывающих влияние на состояние подземных вод (включая источники нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения), в том числе и на перспективу;

- санитарно-эпидемиологическая экспертиза технологий, проектов строительства, реконструкции объектов, прямо или косвенно влияющих на состояние подземных вод.

Требования к санитарной охране подземных вод, рассматриваемые в разделе 3, предусматриваются пунктом 3.1, где санитарная охрана подземных вод осуществляется при:

- орошении и удобрении сельскохозяйственных полей доочищенными сточными водами и их осадками;

- осуществлении хозяйственной и иной деятельности в пределах зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения, лечебных подземных вод и округов санитарной охраны курортов;

- строительстве гидротехнических сооружений, изменяющих условия питания и разгрузки подземных вод, и прочих видах хозяйственной и иной деятельности, оказывающих влияние на качество подземных вод.

Согласно пункту 3.2, мероприятия по защите подземных вод от загрязнения при различных видах хозяйственной деятельности должны в том числе обеспечивать предупреждение фильтрации загрязненных вод с поверхности почвы в водонесные горизонты.

Пунктом 3.7 не допускается орошение сельскохозяйственных земель сточными водами, если это влияет или может отрицательно влиять на состояние подземных вод.

В приложении 2 настоящих санитарных правил определены приоритетные загрязнения, обнаруженные в подземных водах в зонах влияния сельскохозяйственных предприятий, которыми являются: пестициды, аммиак, нефтепродукты, фенолы, СПАВ, нитриты, нитраты, минерализация, хлориды.

Санитарные правила и нормы СанПиН 42-128-4690-88 «Санитарные правила содержания территорий населенных мест» [72], согласно разделу 1 устанавливают, что система санитарной очистки и уборки территорий населенных мест предусматривает рациональный сбор, быстрое удаление, надежное обезвреживание и экономически целесообразную утилизацию бытовых отходов (хозяйственно-бытовых, в том числе пищевых отходов из жилых и общественных зданий, предприятий торговли, общественного питания и культурно-бытового назначения; жидких из не канализованных зданий; уличного мусора и смета и других бытовых отходов, скапливающихся на территории населенного пункта) в соответствии с Генеральной схемой очистки населенного пункта, утвержденной решением Исполкома местного Совета народных депутатов.

Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30 апреля 2003 г. № 81 санитарные правила СанПиН 3183-84 признаны утратившими силу с 15 июня 2003 г. и заменены на санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.1.7.1322-03) «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. [73].

Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» [74], устанавливают требования к качеству почвы населенных мест и сельскохозяйственных угодий, обуславливающих соблюдение гигиенических нормативов при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции (техническом перевооружении) и эксплуатации объектов различного назначения, в том числе и тех, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на состояние почв.

Согласно пункту 2.3, в почвах городских и сельских поселений и сельскохо-

злейственных угодий содержание потенциально опасных для человека химических и биологических веществ, биологических и микробиологических организмов в почвах на разной глубине, а также уровень радиационного фона не должны превышать предельно допустимые концентрации (уровни), установленные санитарными правилами и гигиеническими нормативами, а согласно пункту 2.5, в качестве фоновых значений концентраций химических веществ следует использовать региональные показатели почв.

В пункте 3.7 определены почвы сельскохозяйственного назначения по степени загрязнения химическими веществами и разделены на следующие категории: допустимые, умеренно опасные, опасные и чрезвычайно опасные:

- допустимая категория почв – содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК;

- умеренно опасная категория почв – содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю вредности;

- опасная категория почв – содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности;

- чрезвычайно опасная категория почв – содержание химических веществ превышает ПДК по всем показателям вредности.

Рекомендации по практическому использованию сельскохозяйственных почв загрязненных территорий с учетом существующей разницы допустимых уровней содержания химических веществ по различным показателям вредности и основных положений дифференциальной оценки степени опасности загрязненных почв даны в приложении 2 настоящих правил.

Согласно пункту 4.14, для гигиенической оценки почв сельскохозяйственного назначения представляются следующие сведения:

- объем и перечень средств химизации сельского хозяйства (пестициды, регуляторы роста, мелиоранты), места расположения складов их хранения, взлетно-посадочных полос сельскохозяйственной авиации;

- места расположения отходов животноводческих комплексов, птицефабрик;

- способы орошения земель;

- характеристика санитарного состояния почв;

- свойства почвы и характер рельефа, которые могут повлиять на формирование системы зеленых насаждений.

Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения» [75], согласно пункту 1.10 раздела 1 устанавливают, что на санитарно-эпидемиологическое заключение выбора в центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора заказчик представляет материалы, характеризующие источник водоснабжения, в том числе ориентировочные границы зоны санитарной охраны (ЗСО) и возможные источники загрязнения.

В пункте 1.12 говорится, что в состав проекта ЗСО должна входить текстовая часть, в которой в том числе должны содержаться правила и режим хозяйственного использования территорий, входящих в зону санитарной охраны всех поясов.

Учитывая требования пункта 2.1.2 раздела 2, при определении размеров поясов ЗСО необходимо учитывать время выживаемости микроорганизмов (2 пояс), а для химического загрязнения – дальность распространения, принимая стабильным его состав в водной среде (3 пояс).

Другие факторы, ограничивающие возможность распространения микроорганизмов (адсорбция, температура воды и др.), а также способность химических загрязнений к трансформации и снижение их концентрации под влиянием физико-химических процессов, протекающих в источниках водоснабжения (сорбция, выпадение в осадок и др.), могут учитываться, если закономерности этих процессов достаточно изучены.

В приложении 1 данных санитарных правил и норм рекомендуется при изучении поверхностных источников питьевого водоснабжения, рассматривая общие санитарные характеристики бассейна в той его части, которая может влиять на качество воды у водозабора, включать наличие других возможных причин загрязнения источника (судоходство, лесосплав, водопой, зимние свалки на лед, купание, водный спорт, мелиоративные работы, использование удобрений и ядохимикатов в сельском хозяйстве и т. п.).

Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» [76] устанавливают гигиенические требования к качеству питьевой воды, а также правила контроля качества воды, производимой и подаваемой централизованными системами питьевого водоснабжения населенных мест.

Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 1.2.1330-03 «Гигиенические требования к производству пестицидов и агрохимикатов» [77], на основании пункта 1.3 включают гигиенические требования, направленные на обеспечение безопасности производства и расфасовки (далее – производства) пестицидов и агрохимикатов, оптимальных условий труда и сохранение здоровья работающих, а также на предотвращение неблагоприятного воздействия на среду обитания человека и состояние здоровья населения, проживающего в зоне влияния указанных производств.

Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.1077-01 «Гигиенические требования к хранению, применению и транспортировке пестицидов и агрохимикатов» [78] распространяются на все производственные объекты, процессы и оборудование, связанные с хранением, транспортировкой и применением пестицидов и агрохимикатов, и являются обязательными для исполнения всеми гражданами и юридическими лицами, применяющими пестициды и агрохимикаты (выполняющими «защитные» работы), а также проектирующими, строящими и эксплуатирующими производственные здания, средства транспортировки, технологическое, санитарно-техническое оборудование, предназначенные для работ с пестицидами и агрохимикатами, в том числе оборудование для их обезвреживания.

В соответствии с пунктом 1.2, особенностями, определяющими потенциальную опасность пестицидов для человека и среды его обитания (далее – окружающая среда), являются высокая биологическая активность при малых уровнях воздействия, способность к циркуляции в окружающей среде и возможность контакта с ними населения.

Согласно пункту 2.12, применение пестицидов и агрохимикатов в сельскохозяйственном производстве проводится только после предварительного обследования сельскохозяйственных угодий (посевов, производственных помещений) и установления специалистами станций защиты растений или агрохимцентров целесообразности их применения. Не допускается обработка пестицидами участков (помещений), не нуждающихся в ней.

С целью исключения загрязнения пестицидами атмосферного воздуха и во-

доемов в местах пребывания людей на прилегающих территориях к обрабатываемым площадям, согласно пункту 2.15, должна учитываться «роза ветров» и возможность изменения направления воздушных потоков в период проведения «защитных» работ.

Для предупреждения накопления в почве стойких и активно мигрирующих пестицидов пунктом 20.1.1 устанавливается необходимость строгого соблюдения установленных для каждого пестицида регламентов и рекомендаций по применению (нормы расхода препарата, кратность, время, способ обработок) в соответствии с требованиями нормативных документов.

Согласно пункту 20.1.2, контроль содержания пестицидов в почве осуществляется землепользователями, а согласно пункту 20.1.3, объектом контроля должна быть почва сельскохозяйственных угодий, грунты теплиц, а также участков водоохраных зон поверхностных водоемов, поверхностных и подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, в местах массового отдыха населения, территории складов хранения пестицидов и агрохимикатов, сельхозаэродромов.

Применение пестицидов для любого вида обработок допускается при условии выполнения требований к организации и соблюдению соответствующего режима водоохраных зон (полос) для поверхностных водоемов и зон санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, предусмотренных действующими нормативными документами. В соответствии с пунктом 20.3.2, категорически запрещается применение стойких и активно мигрирующих в почву пестицидов на площадях с недостаточно защищенными (водонепроницаемым покрытием) подземными водоисточниками.

Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод» [79], согласно разделу 1, распространяются на все поверхностные водные объекты на территории Российской Федерации, используемые или намечаемые к использованию для нужд населения, за исключением прибрежных вод морей, и устанавливают гигиенические требования:

- к качеству воды водных объектов в пунктах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования;
- к условиям отведения сточных вод в водные объекты;
- к размещению, проектированию, строительству, реконструкции и эксплуатации хозяйственных и других объектов, способных оказать влияние на состояние поверхностных вод, а также требования к организации контроля качества воды водных объектов.

Согласно пункту 3.2, водные объекты питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования считаются загрязненными, если показатели состава и свойства воды в пунктах водопользования изменились под прямым или косвенным влиянием хозяйственной деятельности, бытового использования и стали частично или полностью непригодными для водопользования населения, а согласно пункту 3.4, водопользователи на основе регламентированных условий сброса сточных вод и требований к различным видам хозяйственной деятельности обязаны обеспечить разработку и реализацию водоохраных мероприятий, осуществление контроля за использованием и охраной вод, принятие мер по предотвращению и ликвидации загрязнения водных объектов, в т. ч. и вследствие залпового или аварийного сброса.

В разделе 4, пункт 4.1, в целях охраны водных объектов от загрязнения не допускается сбрасывать в водные объекты сточные воды, в том числе поверхностно-ливневые, которые:

- могут быть устранены путем организации малоотходных производств, рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного и повторного водоснабжения после соответствующей очистки и обеззараживания в сельском хозяйстве и для орошения;

- содержат возбудителей инфекционных заболеваний бактериальной, вирусной и паразитарной природы;

- содержат вещества (или продукты их трансформации), для которых не установлены гигиенические ПДК или ОДУ, а также отсутствуют методы их определения;

- содержат чрезвычайно опасные вещества, для которых нормативы установлены с пометкой «отсутствие».

В пункте 4.7 установлено, что к отведению поверхностного стока в водные объекты предъявляются такие же требования, как к сточным водам.

Согласно пункту 5.2, качество водных объектов должно соответствовать требованиям, указанным в приложении 1. Содержание химических веществ не должно превышать гигиенические предельно допустимые концентрации и ориентировочные допустимые уровни веществ в воде водных объектов, утвержденные в установленном порядке (ГН 2.1.5.690-98 с дополнениями [80]). Обязательное приложение 1 устанавливает общие требования к составу и свойствам воды водных объектов по 17 показателям.

Соблюдение настоящих санитарных правил обязательно при размещении, проектировании, вводе в эксплуатацию и эксплуатации хозяйственных или других объектов и проведении любых работ, способных оказать влияние на качество воды водных объектов, согласно установленным требованиям пункта 6.1.

В пункте 6.11.3 приводятся условия, что при наличии в сточных водах химических веществ, содержащихся в воде фоновых створов (принятого для расчета ПДС) на уровне ПДК, в расчетах ПДС не должны учитываться процессы разбавления.

Согласно пункту 6.12, водопользователи обязаны обеспечивать проведение работ по обоснованию безопасности и безвредности для здоровья человека материалов, реагентов, технологических процессов и устройств, используемых при очистке сточных вод, в канализационных, гидротехнических сооружениях и других технических объектах, которые могут привести к загрязнению поверхностных вод.

В разделе 7 установлены требования к организации надзора и контроля за качеством воды водных объектов, где в пункте 7.10 водопользователи обязаны предоставлять информацию органам и учреждениям государственной санитарно-эпидемиологической службы и населению о загрязнении водных объектов и прогнозируемом ухудшении качества воды, а также о принятом решении о запрете или ограничении водопользования, осуществляемых мероприятиях.

«Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ» [81] устанавливают основные требования к проектированию, строительству и эксплуатации водохранилищ и нижним бьефам, используемым или намечаемым к использованию в качестве источников хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования с целью обеспечения качества воды в них, соответствующего требованиям водно-санитарного законодательства.

При проектировании и строительстве водохранилищ пунктом 3.1.2 устанавливаются требования, что в составе материалов по выбору площадок для строительства должен быть также представлен водохозяйственный расчет режимов работы водохранилища с учетом обеспечения санитарных расходов (попусков) в нижнем бьефе, а также прогноз качества воды в водохранилище с учетом влияния на него

различных элементов затопляемой территории: остаточной растительности, почвогрунтов, торфяников, заболоченных территорий и т. д.

Согласно пункту 5.1, мероприятия по санитарной охране водных объектов должны быть направлены на ликвидацию и (или) предупреждение возможного появления источников загрязнения в целях обеспечения надлежащего качества воды водохранилищ, используемых или намечаемых к использованию для удовлетворения хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых нужд населения.

Материалы, представляемые на согласование, в соответствии с пунктом 5.2 должны содержать мероприятия по борьбе с загрязнением водных объектов производственными, хозяйственно-бытовыми, коллекторно-дренажными и сбросными водами мелиоративных систем, а также поверхностным стоком с территорий населенных мест и сельскохозяйственных земель.

Для соблюдения пункта 6.2 при разработке прогноза качества воды должны быть учтены:

- поступление загрязнений от антропогенных источников (хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды, поверхностный сток с городских территорий и промплощадок, торфоразработки, водный транспорт, маломерный речной флот, рекреация, поверхностный сток сельскохозяйственных объектов и сельхозугодий);

- влияние природных факторов (геолого-почвенное строение района, климат, гидрогеологический режим, паводковые и дождевые воды, аккумулируемые в водохранилище).

Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06 «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве» [82] устанавливают ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве разного характера землепользования и распространяются на почвы населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, зон санитарной охраны источников водоснабжения, территории курортных зон и отдельных учреждений.

Ориентировочные допустимые концентрации химических веществ в почве (валовое содержание) представлены для разных типов почв, для таких веществ, как аверсектин, кадмий, медь, мышьяк, никель, свинец, цинк.

Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» [83] на основе комплексных экспериментальных исследований опасности опосредованного воздействия вещества-загрязнителя почвы на здоровье человека, а также с учетом его токсичности, эпидемиологических исследований, международного опыта нормирования, и распространяются на почвы населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, зон санитарной охраны источников водоснабжения, территории курортных зон и отдельных учреждений.

Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве представлены для 39 веществ, определены величина ПДК и лимитирующий показатель вредности.

Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1316-03 «Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» [84] разработаны на основе расчетных экспресс-экспериментальных методов прогноза токсичности и применяются только на стадии предупредительного санитарного надзора за проектируемыми или строящимися предприятиями и распространяются на воду подземных и поверхностных водоисточников, используемых для централизованного и нецентрализованного во-

доснабжения населения, для рекреационного и культурно-бытового водопользования, а также питьевую воду и воду в системах горячего водоснабжения.

Ориентировочные допустимые уровни химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования представлены по 443 наименованиям, имеют величину ОДУ, лимитирующий показатель вредности и класс опасности.

Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» [85] разработаны на основе экспериментальных исследований токсичности и опасности веществ, влияния на санитарный режим водоемов, органолептических исследований, а также с учетом эпидемиологических исследований, международного опыта, и распространяются на воду подземных и поверхностных водоисточников, используемых для централизованного и нецентрализованного водоснабжения населения, для рекреационного и культурно-бытового водопользования, а также питьевую воду и воду в системах горячего водоснабжения.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования представлены 1356 наименованиями, имеют величину ПДК, лимитирующий показатель вредности и класс опасности.

1.3.3 Действующие ГОСТы и международные стандарты

ГОСТ 17.1.3.13-86 (СТ СЭВ 4468-84) «Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения» [86] распространяется на поверхностные воды и устанавливает общие требования к охране их от загрязнения. Настоящий стандарт не распространяется на воды морей.

В пункте 2 установлено, что при использовании водных объектов для различных хозяйственных целей необходимо проводить комплекс мероприятий по предотвращению их загрязнения, засорения и истощения.

Согласно пункту 6, в поверхностные воды не допускается сброс сточных вод, вызывающих загрязнения водных объектов. Степень очистки сточных вод определяется их составом и свойствами, ассимилирующей способностью водного объекта и требованиями водопользователей к качеству воды.

В соответствии с пунктом 17, сельскохозяйственное орошение не должно приводить к поступлению в поверхностные воды возвратных вод, содержащих минеральные и органические удобрения или пестициды в концентрациях, превышающих нормы.

ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» [87] распространяется на источники централизованного водоснабжения, в том числе на источники с солоноватой и соленой водой, для вновь проектируемых и реконструируемых систем хозяйственно-питьевого водоснабжения и систем водоснабжения, подающих воду одновременно для хозяйственно-питьевых и производственных целей, и устанавливает гигиенические и технические требования к источникам водоснабжения и правила их выбора в интересах здоровья населения.

В пункте 3.4 раздела 3 правила выбора и оценка пригодности, поверхностного источника водоснабжения производятся на основании следующих данных – анализов качества воды, гидрологических данных, минимальных и средних расходов воды, соответствия их предполагаемому водозабору, санитарной характеристики

бассейна, развития промышленности, наличия и возможности появления источников бытового, промышленного и сельскохозяйственного загрязнения в районе предполагаемого водозабора.

В рекомендуемом приложении 2 «Программа изучения источников водоснабжения» при изучении поверхностных источников необходимо располагать данными:

- расстояния от места спуска стоков до водозабора;
- наличия других возможных причин загрязнения источника (судоходство, лесосплав, водопой, зимние свалки на лед, купание, водный спорт, мелиоративные работы, использование удобрений и ядохимикатов в сельском хозяйстве и т. п.).

ГОСТ 27065-86 (СТ СЭВ 5184-85) «Качество вод. Термины и определения» [88] устанавливает термины и определения основных понятий в области качества вод. Стандарт не распространяется на сточные воды.

ГОСТ 17.1.3.06–82 (СТ СЭВ 3079-81) «Общие требования к охране подземных вод» [89] устанавливает общие требования к охране подземных вод от загрязнения.

Пунктом 2 настоящего стандарта устанавливается, что при осуществлении хозяйственной деятельности должно быть исключено попадание загрязняющих веществ в подземные воды из источников их загрязнения.

Перечень источников загрязнения подземных вод приведен в приложении, к числу которых относятся:

- сельскохозяйственные или другие угодья, на которых применяются удобрения, пестициды и другие химические вещества;
- участки инфильтрации загрязненных атмосферных осадков.

ГОСТ 17.4.2.01-81 «Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния» [90] устанавливает номенклатуру показателей санитарного состояния почв для всех видов земель единого государственного земельного фонда.

Номенклатура показателей санитарного состояния почв, предусмотренная настоящим стандартом, должна применяться при разработке нормативно-технической документации по охране почв от загрязнения, а также при контроле состояния почв.

Номенклатура показателей санитарного состояния почв, характеризующие свойства и обязательность определения их при контроле состояния почв различных видов землепользования, представлены 23 показателями.

ГОСТ 17.1.1.01-77 (СТ СЭВ 3544-82) «Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения» [91] устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области использования и охраны вод.

Термины, установленные настоящим стандартом, представлены в количестве 55 штук, обязательны для применения в используемой в народном хозяйстве документации всех видов, в научно-технической, учебной и справочной литературе. Приведенные определения можно, при необходимости, изменять по форме изложения, не допуская нарушения границ понятий.

ГОСТ 17.0.0.01-76 «Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения» [92] состоит из комплексов взаимосвязанных стандартов, направленных на сохранение, восстановление и рациональное использование природных ресурсов.

Основной задачей системы стандартов в области охраны природы является введение в стандарты правил и норм, направленных на:

- обеспечение сохранности природных комплексов;
- содействие восстановлению и рациональному использованию природных ресурсов;
- содействие сохранению равновесия между развитием производства и устойчивостью окружающей природной среды;
- совершенствование управления качеством окружающей природной среды в интересах человечества.

Система стандартов в области охраны природы разрабатывается с учетом экологических, санитарно-гигиенических, технических и экономических требований.

Наиболее близкие к проблеме поверхностного стока стандарты относятся к группам 1, 3, 4 с соответствующими наименованиями:

- стандарты в области охраны и рационального использования вод;
- стандарты в области охраны и рационального использования почв;
- стандарты в области улучшения использования земель.

Таким образом, проведенный анализ научной литературы, федеральных законов и других нормативных документов, отчетов региональных бассейновых управлений МПР, водохозяйственных организаций Минсельхоза России и других организаций и учреждений показывает, что основной вред в загрязнение поверхностных водных объектов наносами и биогенными веществами наносит поверхностный сток с земель сельскохозяйственного использования. По мнению большинства российских и зарубежных ученых и специалистов эта величина достигает от 50 % до 80 % общего объема поступающих биогенных веществ в водные объекты. При этом ущерб, наносимый водным объектам, исчисляется десятками миллиардов рублей.

Поверхностные водные объекты являются важной частью природных ресурсов России, поэтому сохранение и улучшение качества водных источников является важной государственной задачей, направленной на сохранение местообитания и обеспечения качественной питьевой водой населения, технической – производственных отраслей и для орошения сельскохозяйственных культур. Учитывая тот момент, что основная доля биогенных веществ поступает с поверхностным стоком с земель сельхозназначения, вызванным талыми водами, ливневыми осадками или орошением, можно с уверенностью отметить, что только при снижении поверхностного стока и эрозионных процессов до допустимых пределов возможно решить проблему сохранения водных ресурсов.

Как показывают данные, полученные в различных регионах России, поверхностный сток и водную эрозию можно и нужно регулировать различными агротехническими, лесомелиоративными, гидротехническими и другими мероприятиями. Обеспечить выполнение землепользователями на водосборах таких мероприятий можно только используя обучение, убеждение и экономическое воздействие на хозяйствующие субъекты. Для этого в России принято достаточно нормативных актов, регламентирующих деятельность организаций всех форм. Однако по вопросам определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам отдельными землепользователями на водосборах и назначения компенсационных мероприятий требуется проведение дальнейших исследований и разработка методологии определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком и методологии назначения компенсационных мероприятий по снижению размера ущерба от поверхностных стоков на основе разработки автоматизированной модели расчета ущерба.

2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ВОДНЫМ ОБЪЕКТАМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ И НАЗНАЧЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

В условиях нарастающей антропогенной нагрузки, загрязнения и истощения водных источников необходимо осознание высокой значимости экологически безопасного функционирования водных экосистем, зависимости здоровья, благосостояния человека и экономического развития страны от качества воды. Поэтому научно-методическому обеспечению охраны поверхностных водных объектов отводится большая роль в обосновании качественных и количественных показателей поверхностного стока и их допустимого уровня воздействия на поверхностные водные объекты. Это позволит обеспечить экологическую безопасность и обоснованно реализовать принцип «загрязнитель платит», объявленный *Экологической Доктриной*, одобренной Правительством Российской Федерации в 2002 году.

Понятие «ущерб» в нашем случае подразумевает систему, состоящую из источника негативного воздействия (поступление загрязняющих веществ с поверхностным стоком), и объекта, испытывающего это воздействие (поверхностные водные объекты).

Под задачей снижения негативного воздействия понимается как определение масштаба самого воздействия, так и необходимой степени его снижения. Однако оценка воздействия и оценка ущерба, полученного от этого воздействия при изменении природной среды, – это взаимосвязанные, но не идентичные понятия.

Оценка воздействия предполагает назначение мероприятий, необходимых для снижения этого воздействия, то есть снижение величины поверхностного стока. В данной работе в качестве таковых являются компенсационные мероприятия, направленные на создание условий, способствующих впитыванию и аккумуляции осадков в почву и, тем самым, снижению величины поверхностного стока.

В отличие от воздействия на водный объект под ущербом следует понимать снижение в результате внешнего воздействия нормального (или заданного) уровня состояния системы или стандарта качества объекта, значимое с точки зрения устойчивости системы или потребительских качеств этого объекта. Ущерб оценивается в сопоставимых единицах, определенных, чтобы компенсировать ухудшение качества водных объектов. Они показывают, какова именно величина негативных изменений в среде и устанавливают возможные затраты на восстановление утраченного качества.

2.1 Анализ и оценка методов определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком

Необходимость прогноза возможного ущерба и определения фактической величины ущерба от загрязнения поверхностных водных объектов возникает:

- при составлении схем комплексного использования и охраны водных ресурсов по крупному экономическому району или водному бассейну;
- при обосновании норм допустимого воздействия и предельно допустимых норм сброса различных вредных веществ в водоемы различных категорий;
- при разработке мероприятий, стимулирующих очистку сточных вод отдельными водопользователями и водопотребителями;
- при расчете ущерба от ухудшения качества воды водных источников в результате нарушения действующих законоположений по охране водоемов для наложения необходимых санкций и др.

В России существует более десятка различных методик, в той или иной мере позволяющих определить воздействие или оценить ущерб (вред), наносимый поверхностным водным объектам от стока талых, ливневых или мелиоративных (дренажных) вод.

Одной из первых таких работ, получивших в свое время всеобщее признание, является «*Проект методики оценки ущербов от загрязнения водных источников*» [93], разработанный на Украине и опубликованный в 1972 г. Критерий для определения величины ущерба, согласно этой работе, должен иметь обобщающий характер и с достаточной точностью отражать величину снижения эффективности использования производственных и непроизводственных фондов народного хозяйства, увеличения текущих затрат с учетом интересов всех водопотребителей и водопользователей.

В данной методике критерием оценки вредности поступающих в водоем сточных вод стал – гигиенический, а именно – степень ограничения санитарно-бытового водопользования, которая возникает (или может возникнуть) в силу загрязнения воды, создающего опасность для здоровья населения или ухудшающего санитарные условия жизни.

Экономический критерий необходимости осуществления водоохраных мероприятий определяется при сопоставлении необходимых для этих целей затрат с размером ущерба народному хозяйству при отсутствии необходимых условий для обезвреживания загрязненных сточных вод.

В этой методике приведены примеры расчетов ущерба, показавшие, что в различных регионах страны от одного и того же проявления техногенеза ущерб будет разным. Это определяется как разной ценностью природных ресурсов (рыбное хозяйство, лес и т. д.), страдающих от загрязнения, так и характером загрязнений, определяющих изменчивость фоновых геохимических характеристик. Большое внимание здесь было уделено проблемам очистки сточных вод.

Большая часть последующих документов: «*Методика определения экономической эффективности водоохраных мероприятий*»; «*Методика подсчета убытков, причиненных государству нарушением водного законодательства*»; «*Рекомендации для определения ущерба от загрязнения водных источников*»; «*Временная типовая методика определения экономической эффективности водоохраных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиненного народному хозяйству загрязнением окружающей среды*» утратили региональные различия определения величины ущерба, зато охватили разносторонние сферы человеческой деятельности, где проявляются негативные последствия загрязнения водных объектов [94–97].

Речь в них идет уже о назначении других видов водоохраных мероприятий и о совершенствовании очистки сточных вод и т. д. Ущерб здесь рассчитывают как сумму частных ущербов от загрязнения любых водных объектов независимо от основополагающего принципа его оценки, наносимых отдельным потребителям или пользователям воды.

В принятой в 1992 году методике Минприроды России «*Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия*» приведена санитарно-гигиеническая оценка эпидемической опасности и опасности загрязнения химическими веществами питьевой воды и источников питьевого водоснабжения [98]. Нормы показателей приведены для относительно удовлетворительной ситуации, чрезвычайной ситуации и экологического бедствия.

В «*Методических основах оценки и регламентирования антропогенного*

влияния на качество поверхностных вод» (1987) приводится методика расчета предельно допустимых сбросов (ПДС) вредных веществ в водные объекты, действующих на территории России до 1996 года [99]. В данной методике учитывались только организованные сбросы, на которые переносились ограничения на поступление загрязнений от неорганизованных сбросов. Но в постановлении Правительства РФ № 1504 от 19 декабря 1996 г. «О порядке разработки и утверждения нормативов предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты» была отмечена необходимость учитывать объем загрязняющих веществ, поступающих из всех источников загрязнений [100].

В целях реализации этого постановления были разработаны: «Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых сбросов вредных веществ в поверхностные водные объекты» (1998) и «Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты» (1998) [101, 102]. Последние были доработаны и приняты в 1999 году под редакцией «Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых сбросов вредных веществ в поверхностные водные объекты» (уточненная редакция, 1999) [103].

Документ направлен на обеспечение единого методического подхода при осуществлении водоохраных мероприятий, связанных со сбросом сточных вод в водные объекты, на применение единообразных расчетных методов, которые рекомендуется использовать водопользователям, имеющим организованные выпуски сточных вод в водные объекты, при разработке нормативов ПДС. Этими методическими указаниями устанавливаются общие принципы определения нормативов ПДС загрязняющих веществ в водные объекты в составе сточных вод и применение указанных нормативов в системе управления качеством сточных вод.

«Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на поверхностные водные объекты» (1999) определяют общие принципы разработки нормативов предельно допустимых вредных воздействий (ПДВВ) хозяйственной и иной деятельности на поверхностные водные объекты [104]. Нормативы ПДВВ устанавливаются, исходя из предельно допустимой величины антропогенной нагрузки, длительное воздействие которой не приведет к изменению экосистемы водного объекта и предельно допустимой массы вредных веществ, которая может поступить в водные объекты и на его водосборную площадь. Нормативы ПДВВ используются для регламентации каждого вида воздействия хозяйственной и иной деятельности на водный объект, исходя из его целевого назначения.

«Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба» (1999) предназначена для получения укрупненной эколого-экономической оценки ущерба, предотвращаемого в результате осуществления государственного экологического контроля, реализации экологических программ и природоохранных мероприятий, осуществления государственной экологической экспертизы, лицензирования природоохранной деятельности и др. [105]. Она предусматривает единый подход к оценке ущербов для атмосферы, водных ресурсов, почвы и биосферы. К основным факторам, определяющим величину предотвращенного экологического ущерба на территории субъектов Российской Федерации, относятся:

- снижение сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные источники;
- снижение загрязненности земель химическими веществами;
- уменьшение площадей деградированных земель и др.

Основными принципами при формировании оценок предотвращенного экологического ущерба являются:

- учет региональных особенностей негативного воздействия хозяйственной деятельности на состояние природных ресурсов и объектов;
- учет факторов, влияющих на деятельность природоохранных органов по различным направлениям (экологический контроль, экспертиза, контроль за реализацией экологических программ и т. д.);
- простота и практическая возможность определения величины предотвращаемого экологического ущерба;
- достоверность информации, используемой при определении величины предотвращаемого экологического ущерба.

Главный принцип этой методики заключается в том, что под ущербом от загрязнения окружающей среды подразумеваются фактические и возможные убытки народного хозяйства, связанные с загрязнением окружающей природной среды.

Под ущербом от загрязнения водной среды и водного фонда территории понимаются материальные и финансовые потери и убытки (прямые и косвенные) в результате снижения биопродуктивности водных экосистем, ухудшения потребительских свойств воды как природного ресурса, дополнительных затрат на ликвидацию последствий загрязнения вод и восстановление их качества.

Определение величины предотвращенного экологического ущерба от загрязнений водной среды производится на основе региональных показателей удельного ущерба, представляющих собой удельные стоимостные оценки ущерба на единицу (одну условную тонну) приведенной массы загрязняющих веществ:

$$Y_{\text{пр}r} = \sum_{i=1}^N Y_{\text{уд}j} \cdot \Delta M_{\Gamma} \cdot K_{\text{э}} \cdot J_{\text{д}}; \quad (1)$$

$$\Delta M_{\Gamma} = M_1 - M_2, \quad (2)$$

где $Y_{\text{пр}r}$ – эколого-экономическая оценка величины предотвращенного ущерба водным ресурсам в рассматриваемом r -том регионе, (далее – предотвращенный ущерб), тыс. руб./год;

$Y_{\text{уд}j}$ – показатель удельного ущерба (цены загрязнения) водным ресурсам, наносимого единицей (условная тонна) приведенной массы загрязняющих веществ на конец расчетного периода для j -го водного объекта в рассматриваемом r -том регионе, руб./усл. т – протабулирован в документе «Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод» [99];

ΔM_{Γ} – приведенная масса загрязняющих веществ, снимаемых (ликвидируемых) в результате природоохранной деятельности и осуществления соответствующих водоохранных мероприятий в Γ -том регионе в течение расчетного периода, тыс. усл. т/год;

$K_{\text{э}}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния водных объектов по бассейнам основных рек, определяется в соответствии с «Базовыми нормативами платы за выбросы, сбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду и размещение отходов»;

$J_{\text{д}}$ – индекс-дефлятор по отраслям промышленности, устанавливаемый Минэкономикой России на рассматриваемый период;

M_1, M_2 – приведенная масса сброса загрязняющих веществ в водные объекты рассматриваемого региона, соответственно, на начало и на конец расчетного периода, тыс. усл. т.

Приведенная масса загрязняющих веществ рассчитывается:

- для k -го конкретного объекта или направления водоохранной деятельности в регионе:

$$M_k = \sum_{j=1}^N m_i K_{эi} ; \quad (3)$$

- для r -го региона (района) в целом:

$$M_r = \sum_{k=1}^K M_k , \quad (4)$$

где N – количество учитываемых загрязняющих веществ;

m_i – масса фактического сброса i -го загрязняющего вещества или группы веществ с одинаковым коэффициентом относительной эколого-экономической опасности в водные объекты рассматриваемого региона, т/год;

i – номер загрязняющего вещества или группы веществ;

$K_{эi}$ – коэффициент относительной эколого-экономической опасности для i -го загрязняющего вещества или группы веществ (протабулирован во Временной методике определения предотвращенного экологического ущерба [105]).

В качестве основы для расчетов приведенной массы загрязнений используются утвержденные значения ПДК загрязняющих веществ в воде водоемов рыбохозяйственного значения (как наиболее жесткие). С помощью ПДК определяются коэффициенты эколого-экономической опасности загрязняющих веществ (как величина обратная ПДК $K_{эi} = 1/\text{ПДК}$).

Показатель m определяется на основе данных статистической отчетности предприятий и организаций (*форма 2 ТП-«Водхоз»*), данных гидрохимических лабораторий, аттестованных на право проведения соответствующих анализов, материалов контрольных служб территориальных природоохранных органов и гидрометеорологии, данных проектных материалов и др.

Учитывая огромное количество наименований, поступающих в водные источники загрязняющих веществ, при расчете коэффициентов относительной эколого-экономической опасности загрязнения группируются по классам опасности и признаку близких значений ПДК. Коэффициенты относительной эколого-экономической опасности для групп загрязняющих веществ протабулированы во Временной методике определения предотвращенного экологического ущерба [105].

Оценивая методику в целом, можно заключить, что она хорошо подходит для решения ведомственных задач Минприроды, целесообразность применения ее для других целей требует дополнительной проработки.

В 1998 году были утверждены «*Методические указания по расчету платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты*» [106], которые были разработаны в соответствии с «*Инструктивно-методическими указаниями по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды*» [107].

Эти методические указания наиболее близко подошли к вопросу определения ущерба от поверхностного стока, но они оценивают качество и количество стока в водотоках, которые чаще всего удалены от земель сельскохозяйственного использования, и не представляется возможным разграничить ответственность отдельно взятого землепользователя, находящегося на одном водосборе.

Остановимся подробнее на концепции этих методических указаний. Методические указания содержат порядок расчета платы за сброс загрязняющих веществ в водные объекты, а также приравненный к ним сброс на рельеф местности, поля

фильтрации и земледельческие поля орошения, специальные водоотводящие устройства (сбросные и дренажные каналы) с площади территории природопользователей в зависимости от функционального ее использования:

- промышленно-урбанизированные территории;
- сельскохозяйственные территории производственного назначения (без сельскохозяйственных угодий и площадей под жилым фондом и приусадебными участками);
- эродированные и эрозионно опасные земли сельскохозяйственного назначения.

Методическими указаниями предусматривается расчет лимитов сбросов и плата за сверхлимитные сбросы. Плата за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы сбросов, определяется путем умножения соответствующих ставок платы на величину загрязнения, на коэффициент индексации платы и суммирования полученных произведений по видам загрязняющих веществ:

$$P_{\text{нвод}} = \sum_{i=1}^N K_{\text{инд}} \cdot C_{\text{нвод}} \cdot M_{i\text{вод}} \text{ при } M_{i\text{вод}} \leq M_{\text{нвод}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{нвод}}$ – плата за сбросы загрязняющих веществ в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы сбросов, руб.;

N – количество загрязняющих веществ;

i – вид загрязняющего вещества ($i = 1, 2 \dots N$);

$K_{\text{инд}}$ – коэффициент индексации платы;

$C_{\text{нвод}}$ – ставка платы за сброс 1 тонны i -го загрязняющего вещества в границах предельно допустимого норматива сброса, руб./т;

$M_{i\text{вод}}$ – фактический сброс i -го загрязняющего вещества, т;

$M_{\text{нвод}}$ – предельно допустимый сброс i -го загрязняющего вещества, т;

$$C_{\text{нвод}} = H_{\text{бнвод}} \cdot K_{\text{эвод}}, \quad (6)$$

где $H_{\text{бнвод}}$ – базовый норматив платы за сброс 1 тонны i -го загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно допустимого норматива сброса, руб./т;

$K_{\text{эвод}}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости поверхностного водного объекта.

Плата за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов определяется путем умножения соответствующих ставок платы на разницу между лимитным и предельно допустимым сбросами загрязняющих веществ на коэффициент индексации платы и суммирования полученных произведений по видам загрязняющих веществ:

$$P_{\text{лвод}} = \sum_{i=1}^N K_{\text{инд}} \cdot C_{\text{лвод}} \cdot (M_{i\text{вод}} - M_{\text{нвод}}) \text{ при } M_{\text{нвод}} \leq M_{i\text{вод}} \leq M_{\text{лвод}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{лвод}}$ – плата за сбросы загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов, руб.;

N – количество загрязняющих веществ;

i – вид загрязняющего вещества ($i = 1, 2 \dots N$);

$K_{\text{инд}}$ – коэффициент индексации платы;

$C_{\text{лвод}}$ – ставка платы за сброс 1 тонны i -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита, руб./т;

$M_{i\text{вод}}$ – фактический сброс i -го загрязняющего вещества, т;

$M_{ni\text{вод}}$ – предельно допустимый сброс i -го загрязняющего вещества, т;

$M_{li\text{вод}}$ – сброс i -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита, т.

$$C_{li\text{вод}} = N_{bli\text{вод}} \cdot K_{эвод} \quad \text{при } M_{ni\text{вод}} \leq M_{i\text{вод}} \leq M_{li\text{вод}} \quad (8)$$

где $N_{bli\text{вод}}$ – базовый норматив платы за сброс 1 тонны i -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита, руб./т;

$K_{эвод}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости поверхностного водного объекта.

Плата за сверхлимитный неорганизованный сброс загрязняющих веществ определяется путем умножения соответствующих ставок платы за загрязнение в пределах установленного лимита на величину превышения фактической массы сброса над установленным лимитом, на коэффициент индексации платы и суммирования полученных произведений по видам загрязняющих веществ с последующим умножением этих сумм на пятикратный повышающий коэффициент:

$$P_{сл\text{вод}} = 5 \sum_{i=1}^N K_{инд} \cdot C_{li\text{вод}} (M_{i\text{вод}} - M_{li\text{вод}}) \quad \text{при } M_{i\text{вод}} \geq M_{li\text{вод}}, \quad (9)$$

где $P_{сл\text{вод}}$ – плата за сверхлимитный сброс загрязняющих веществ, руб.;

N – количество загрязняющих веществ;

i – вид загрязняющего вещества ($i = 1, 2, \dots, N$);

$K_{инд}$ – коэффициент индексации платы;

$C_{li\text{вод}}$ – ставка платы за сброс 1 тонны i -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита, руб./т;

$M_{i\text{вод}}$ – фактическая масса сброса i -го загрязняющего вещества, т;

$M_{li\text{вод}}$ – масса сброса i -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита, т.

Общая плата за неорганизованный сброс загрязняющих веществ определяется суммированием ее составляющих, рассчитанных по формуле:

$$P_{вод} = P_{нвод} + P_{лвод} + N_{слвод} \quad (10)$$

Предельно допустимую массу неорганизованного сброса загрязняющих веществ рассчитывают при уровне содержания основных загрязняющих веществ (взвешенных веществ, нефтепродуктов, легкоокисляемых органических соединений по БПК и ХПК, сульфатов, хлоридов, общего и аммонийного азота, нитратов, нитритов, соединений калия, магния, железа, меди, никеля, цинка, фосфора), не превышающем их средние фоновые концентрации в поверхностном стоке на застроенных участках с высоким уровнем благоустройства.

Массу неорганизованного сброса загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов рекомендуется рассчитывать при уровне содержания основных загрязняющих веществ, превышающем их средние фоновые концентрации в поверхностном стоке на застроенных участках с высоким уровнем благоустройства, либо при наличии специфических загрязняющих веществ, при этом особое внимание рекомендуется уделять токсичным веществам, используемым в производственной деятельности.

Масса сброса загрязняющих веществ с неорганизованным стоком с территории (водосбора) природопользователя определяется по формуле:

$$M_{\text{эз}i} = S_{\text{эз}} \cdot P \cdot q_i \cdot Y_{\text{в}} \cdot 10 \cdot e^{-5}, \quad (11)$$

где $M_{\text{эз}i}$ – масса сброса загрязняющих веществ, т;

$S_{\text{эз}}$ – площадь эродированных и эрозионно опасных земель, га;

P – масса смыва почвы с эродированных и эрозионно опасных земель, т/га в год;

q_i – содержание i -го загрязняющего вещества в смываемой почве, кг/т;

$Y_{\text{в}}$ – удельный вес выноса продуктов эрозии почвы за пределы водосбора, % к объему смыва (принимается от 1 до 10 % в зависимости от густоты овражно-балочной сети от 0,2 до 2,0 км/км² или в среднем 3 %).

Площади эродированных и эрозионно опасных земель сельскохозяйственного назначения определяются по данным почвенных обследований или планов землеустройства природопользователя. При наличии мониторинга почвенного покрова фактическая масса смыва почвы с эродированных и эрозионно опасных земель и содержание загрязняющих веществ в ней принимаются по его результатам.

При отсутствии контроля расчет массы сброса может осуществляться только по взвешенным веществам, для которых значение q_i принимается равным 1000, а массу смыва почвы с эродированных и эрозионно опасных земель рекомендуется принимать по Временной методике определения предотвращенного экологического ущерба.

Объем стока дождевых вод определяется по формуле:

$$W_{\text{д}} = 2,5 \cdot H_{\text{д}} \cdot K_q \cdot K_{\text{вн}}, \quad (12)$$

где $W_{\text{д}}$ – объем стока дождевых вод, м³/га;

$H_{\text{д}}$ – слой осадков за теплый период со средними температурами выше 0 °С, определяется по данным метеорологических наблюдений территориального органа Гидрометеослужбы, мм;

K_q – коэффициент, учитывающий объем стока дождевых вод в зависимости от интенсивности дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при периоде однократного превышения расчетной интенсивности дождя, равном одному году;

$K_{\text{вн}}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность формирования дождевого стока с учетом удельного веса (в процентах) водонепроницаемых поверхностей ($P_{\text{вн}}$) на площади территории (водосбора) хозяйствующего субъекта, определяется по данным, приведенным во Временной методике определения предотвращенного экологического ущерба.

Объем стока талых вод определяется по формуле:

$$W_{\text{т}} = H_{\text{т}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{в}}, \quad (13)$$

где $W_{\text{т}}$ – объем стока талых вод, м³/га;

$H_{\text{т}}$ – слой осадков за холодный период со средними температурами ниже 0 °С, определяется по данным метеорологических наблюдений территориального органа Гидрометеослужбы, мм;

$K_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий объем стока талых вод в зависимости от условий снеготаяния;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий вывоз снега с территории (водосбора) хозяйствующего субъекта (при отсутствии вывоза снега $K_{\text{в}} = 10$ и его значение уменьшается при вывозе снега пропорционально объему вывоза).

В декабре 2006 года в целях реализации статьи 35 Водного кодекса РФ [55] Правительством России было принято *постановление от 30.12.2006 № 881 «О порядке утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты»*, в котором указана необходимость утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты, разработанных на основании предельно допустимых концентраций химических, радиоактивных веществ и других показателей качества воды в водных объектах [108]. При этом пунктом 4 статьи 35 Водного кодекса установлено, что количество веществ, содержащихся в сбросах сточных и дренажных вод в водные объекты, не должно превышать установленные нормативы допустимого воздействия (ДВ). Отсюда следует, что размерность ДВ для случая сброса сточных и дренажных вод в водные объекты выражается исключительно в единицах массы веществ и организмов.

Это подтверждается и в утвержденной приказом МПР России от 17 декабря 2007 г. № 333 *«Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей»* [109].

В целях совершенствования и унификации методик определения вреда, нанесенного водным объектам, в соответствии с *Водным кодексом Российской Федерации, постановлением Правительства РФ от 4 ноября 2006 г. № 639*, Министерству природных ресурсов было поручено разработать документ, определяющий порядок расчета размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [110]. В соответствии с этим была разработана и утверждена приказом МПР от 30 марта 2007 г. № 71 *«Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства»* [111], а в 2009 году была актуализирована *«Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства»* (далее – Методика) [112].

Методика применяется для исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, в том числе нарушения правил эксплуатации водохозяйственных систем, сооружений и устройств, а также при авариях на предприятиях, транспорте и других объектах, связанных со сбросом вредных (загрязняющих) веществ в водный объект, включая аварийные разливы нефти и иных вредных (загрязняющих) веществ, в результате которых произошло загрязнение, засорение и (или) истощение водных объектов.

Настоящей Методикой учитываются виды причинения вреда водным объектам вследствие нарушения водного законодательства Российской Федерации, в том числе:

- загрязнение водных объектов с судов нефтью, вредными веществами, сточными водами или мусором (пункт 5 части 5 статьи 36 Водного кодекса);
- загрязнение водных объектов в результате сброса сточных вод и (или) дренажных вод в водные объекты, содержащие природные лечебные ресурсы или отнесенные к особо охраняемым водным объектам (часть 2 статьи 44 Водного кодекса);
- загрязнение водных объектов в результате сброса сточных вод и (или) дренажных вод в водные объекты, расположенные в границах зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения; первой, второй зон округов санитарной (горно-санитарной) охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов (часть 3 статьи 44 Водного кодекса);
- засорение водных объектов в результате сплава древесины (статья 48 Водного кодекса);
- загрязнение и засорение водных объектов в результате сброса в водные

объекты и захоронение в них отходов производства и потребления, в том числе выведенных из эксплуатации судов и иных плавучих средств (их частей и механизмов) (часть 1 статьи 56 Водного кодекса);

- загрязнение водных объектов вследствие аварий и иных чрезвычайных ситуаций (часть 3 статьи 56 Водного кодекса);

- загрязнение и засорение водных объектов радиоактивными веществами, пестицидами, агрохимикатами и другими опасными для здоровья человека веществами и соединениями вследствие превышения соответственно предельно допустимых уровней естественного радиационного фона, характерных для отдельных водных объектов, и иных установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации нормативов (часть 4 статьи 56 Водного кодекса);

- загрязнение и засорение водных объектов в результате захоронения в них ядерных материалов и радиоактивных веществ (часть 5 статьи 56 Водного кодекса);

- загрязнение и засорение водных объектов в результате сброса в них сточных вод, содержание в которых радиоактивных веществ, пестицидов, агрохимикатов и других опасных для здоровья человека веществ и соединений превышает нормативы допустимого воздействия на водные объекты (часть 6 статьи 56 Водного кодекса);

- загрязнение и засорение водных объектов радиоактивными и (или) токсичными веществами в результате проведения на водных объектах взрывных работ (часть 7 статьи 56 Водного кодекса);

- загрязнение и засорение болот отходами производства и потребления, загрязнение их нефтепродуктами, ядохимикатами и другими вредными веществами (часть 1 статьи 57 Водного кодекса);

- ухудшение состояния неиспользуемых частей болот, других водных объектов и истощение вод вследствие осушения либо иного использования болот или их частей (часть 2 статьи 57 Водного кодекса);

- загрязнение ледников, снежников в результате несанкционированного сброса сточных вод, а также засорение ледников, снежников отходами производства и потребления, загрязнение их нефтепродуктами, ядохимикатами и другими вредными веществами (часть 1 статьи 58 Водного кодекса);

- негативное воздействие на состояние водных объектов и истощение вод в результате забора (изъятия) льда из ледников (часть 2 статьи 58 Водного кодекса);

- загрязнение водных объектов в результате сброса в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке, обезвреживанию, а также сточных вод, не соответствующих требованиям технических регламентов (пункт 1 части 6 статьи 60 Водного кодекса);

- негативное воздействие на водные объекты вследствие забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта (пункт 2 части 6 статьи 60 Водного кодекса);

- загрязнение и засорение водных объектов вследствие сброса в водные объекты сточных вод, в которых содержатся возбудители инфекционных заболеваний, а также вредные вещества, для которых не установлены нормативы предельно допустимых концентраций (пункт 3 части 6 статьи 60 Водного кодекса);

- загрязнение, засорение, заиление водных объектов и истощение их вод вследствие нарушения специального режима осуществления хозяйственной и иной деятельности на территории водоохранных зон водных объектов (статья 65 Водного кодекса).

В ст. 28 данной Методики приводится порядок исчисления размера вреда от несанкционированных (запрещенных) сбросов вредных (загрязняющих) веществ,

отходов производства и потребления, включая отходы перерабатывающей и пищевой промышленности, отходы содержания животных и птиц, удобрения, ядохимикаты, хранящиеся открытым способом в водоохранной зоне водного объекта или на водосборной площади, смываемых дождевыми, талыми водами в водные объекты, определяется по формуле:

$$M_{nci} = S \cdot (C_{di} \cdot O_d + C_{ti} \cdot O_t) \cdot 10^{-6}, \quad (14)$$

где M_{nci} – масса сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества, смываемого дождевыми и талыми водами, т;

S – площадь водоохранной зоны водного объекта или водосборная площадь, занятая вышеперечисленными вредными (загрязняющими) веществами, включая площадь водонепроницаемых покрытий, га;

C_{di} , C_{ti} – средние (не менее 3-х анализов) концентрации i -го вредного (загрязняющего) вещества соответственно в дождевых и талых водах, мг/дм³;

O_d , O_t – объемы стока соответственно дождевых и талых вод за время (t) сброса, м³/га.

При этом, общая площадь водоохранной зоны водного объекта или водосборная площадь, включая площадь водонепроницаемых покрытий, на которой расположены вредные (загрязняющие) вещества определяется по данным генерального плана землеустройства и (или) данным государственной статистической отчетности об использовании земель, по данным конкретных измерений или экспертной оценки.

Объем стока дождевых вод определяется по формуле:

$$O_d = 2,5 \cdot H_d \cdot K_q \cdot K_{вн} \cdot K_t, \quad (15)$$

где O_d – объем стока дождевых вод, м³/га;

H – слой осадков за теплый период (апрель – октябрь) со средними температурами выше 0 °С определяется по данным метеорологических наблюдений, мм;

K_q – коэффициент, учитывающий объем стока дождевых вод в зависимости от интенсивности дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при периоде однократного превышения расчетной интенсивности дождя равном одному году (q_{20}), определяется по данным таблицы 14.

Таблица 14 – Коэффициенты объема стока дождевых вод в зависимости от интенсивности дождя

q_{20}	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
K_q	0,96	0,91	0,87	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	0,65	0,60

$K_{вн}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность формирования дождевого стока с учетом удельного веса (в процентах) водонепроницаемых поверхностей на площади водоохранной зоны водного объекта или водосборной площади, на которой расположены вредные (загрязняющие) вещества, определяется по данным таблицы 15.

Таблица 15 – Коэффициенты интенсивности стока с учетом водонепроницаемых поверхностей

$P_{вн}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$K_{вн}$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2

K_t – коэффициент, учитывающий принимаемое к расчету размера вреда время сброса вредных (загрязняющих) веществ по отношению к продолжительности теплового периода.

Объем стока талых вод определяется по формуле:

$$O_T = H_T \cdot K_T \cdot K_i, \quad (16)$$

где O_T – объем стока талых вод, м³/га;

H_T – слой осадков за холодный период (ноябрь – март) со средними температурами ниже 0 °С, определяется по данным метеорологических наблюдений, мм;

K_T – коэффициент, учитывающий объем стока талых вод в зависимости от условий снеготаяния, определяется по данным таблицы 16.

Таблица 16 – Коэффициенты стока талых вод в зависимости от условий снеготаяния

Зоны по условиям весеннего стока талых вод	1	2	3	4
Значение коэффициента K_T	0,47	0,56	0,69	0,77

K_i – коэффициент, учитывающей принимаемое к расчету размера вреда время сброса вредных (загрязняющих) веществ по отношению к продолжительности периода стока талых вод.

Коэффициенты K_q и K_i можно также получить на основании данных справочников гидрометеорологической информации.

Так, анализ и оценка методических подходов к определению ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком, показал, что:

- все существующие нормативные акты и методики основаны на определении массы поступивших загрязняющих веществ непосредственно в поверхностных водных объектах на существующих гидрологических и гидрометрических створах (постах), оборудованных непосредственно в водных объектах;

- массу загрязняющих веществ определяют по концентрации загрязняющих веществ в жидком стоке и объему стока (расход воды за время t);

- исчисление ущерба производится по факту поступления загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты с учетом массы i -го вещества, таксы для исчисления размера вреда и коэффициентов.

Существующие методы не позволяют:

- установить конкретного виновника загрязнения поверхностных водных объектов вредными веществами, поступающими с поверхностным стоком с части водосбора;

- определить виды и массу загрязняющих веществ, поступивших с поверхностным стоком с части водосбора (поле, севооборот и пр. и других земель), занимаемых отдельными хозяйствующими субъектами (землепользователями, земли лесного и водного фонда и пр.);

- исчислить размер ущерба, причиненный поверхностным водным объектам биогенными загрязняющими веществами, поступившими с поверхностным стоком с части водосбора (с конкретных полей хозяйствующих субъектов);

- разграничить ответственность землепользователей за загрязнение водных объектов вредными веществами, поступающими с жидкой и твердой фазами (ил, мелкоземом, грунт и пр.);

- разработать почвоохранные компенсационные мероприятия, снижающие размеры поверхностного стока и поступление загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты;

- автоматизировать процессы исчисления размера вреда от поверхностного стока и вести мониторинг состояния водных объектов, размерах исчисленного вреда с указанием виновников загрязнения и пр.

Нарастание дефицита воды и деградация водных экосистем, по количественным и качественным показателям определяют необходимость формирования нового методологического подхода к исчислению ущерба и определению экологически обоснованного воздействия мелиоративных и производственных объектов на поверхностные водные объекты.

Таким образом, анализ и оценка существующих нормативных актов в сфере определения ущерба, наносимого поверхностным стоком поверхностным водным объектам, показал, что в ряде документов оговорены вопросы определения ПДС, ПДВ и ущерба, но наиболее полно методология определения ущерба изложена в *«Методике исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства»* [112].

Однако в этой и всех других методиках определяется качество воды поверхностного стока уже в водотоках или водоприемнике – реке или озере. Получается, что эти методики не позволяют установить причинно-следственную связь состояния агроландшафта на водосборе с величиной и качеством поверхностного стока с отдельных участков (полей) сельхозугодий или земель отдельного землепользователя.

Выпадение, скажем, ливневых осадков происходит в короткий промежуток времени и определить виновников загрязнения, например нескольких землепользователей, находящихся на одном водосборе, практически невозможно, так как учеты количества выноса биогенных веществ осуществляются уже де-факто в водотоке, но уже после ливня. Поэтому актуальны новые методологические подходы к оценке возможного загрязнения водных экосистем вредными веществами, поступающими с поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного назначения. Определение массы поступивших вредных веществ и исчисление ущерба в данном случае должно производиться по натурным наблюдениям и учетам или, что чаще всего будет происходить, косвенным путем по поправочным компенсационным коэффициентам, установленным в результате полевых исследований в зависимости от размеров стока, его качества и ущерба, наносимого водным объектам.

Коэффициенты компенсации величины поверхностного стока до настоящего времени не разработаны, поэтому исполнителями проведены исследования в широком диапазоне по определению влияния различных факторов на поверхностный сток, установлению коэффициентов жидкого и твердого стока (сток наносов), коэффициентов выноса биогенных веществ, влиянию природоохранных мероприятий на величину и качество стока на различных типах агроландшафтов.

2.2 Анализ компенсационных мероприятий, обеспечивающих снижение поверхностного стока

Наибольшую опасность для водных объектов представляет поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий, где применяются высокие дозы химических и органических удобрений и пестициды для защиты растений от вредителей, сорных растений и болезней.

Как показывают исследования отечественных и зарубежных авторов, примерно 40–60 % азота удобрений используется растениями, 20–30 % закрепляется в почве и до 30–40 % теряется из почвы с поверхностным стоком и улетучивается в атмосферу.

Вместе с тем даже в тех случаях, когда удобрения не вносятся, почва и растительные остатки являются источниками выноса биогенных и взвешенных веществ как поверхностным, так и внутрипочвенным стоком. Причем потери растворимых

биогенных веществ из самой почвы нередко превышают объемы вымываемых соединений из вносимых удобрений.

Наиболее значительные массы поллютантов поступают в весенний период, поскольку в это время коэффициент поверхностного стока достаточно высок (почва находится в замерзшем состоянии). В летний период сток биогенных веществ незначителен. Это объясняется благоприятными условиями, обеспечивающими хорошую фильтрацию влаги, а также активной жизнедеятельностью растений (водопотребление и поглощение питательных веществ). Величина твердого стока в летний период ниже, чем в весенний, поскольку почва защищена растительностью.

Анализ существующих в стране методологий назначения компенсационных мероприятий по снижению ущерба от поверхностного стока показал, что несмотря на более чем вековую историю их развития, многие вопросы нуждаются в существенной доработке с учетом последних достижений научных исследований.

Многие из них устарели, не отвечают современным требованиям и не подкреплены соответствующими расчетными данными, поправочными коэффициентами. Кроме того, наиболее важное значение в методологическом плане имеет выбор и привязка к территориальной единице, на которой необходимо применять взаимосвязанную систему компенсационных мероприятий. До этого во всех предлагаемых ранее методиках речь шла о склоновых землях, в лучшем случае о водосборах (балочных, овражных и т. д.). Это не позволяло найти оптимальное решение по сочетанию подбора приемов и мероприятий, обеспечивающих контроль над процессами поверхностного стока.

Предлагаемая нами методология назначения компенсационных мероприятий предлагает расчленение всей водосборной площади на первичные территориальные единицы (агрolandшафтные полосы). Это позволило построить систему компенсационных мероприятий на основе последовательного уплотнения (наслоения) приемами и мероприятиями каждой агрolandшафтной полосы вплоть до целостной системы, где представлен полный их набор. Таким образом, это обусловило высокую степень территориальной адаптации элементов ландшафтного земледелия.

Для предотвращения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком, необходимо проведение системы компенсационных мероприятий, построенной на ландшафтно-контурной основе.

В общем смысле система компенсационных мероприятий – это целостная совокупность элементов, находящихся во взаимодействии. Данная система – это не просто совокупность взаимосвязанных элементов, а целенаправленное множество элементов, тесно увязанных и объединенных друг с другом в единое целое, способное выполнять заданную функцию [113].

Основной метод исследования систем – системный метод или системный анализ. Под ним следует понимать систематизированное изучение сложного объекта, проводимое для выяснения возможностей улучшения функционирования этого объекта.

При изучении сложных объектов и явлений используется их структурно-функциональное расчленение с целью изучения тех или иных свойств, особенностей, с последующим перенесением полученных сведений на объект в целом, т. е. сочетания анализа и синтеза знаний.

Системный подход к вопросам земледелия, и особенно почвозащитного, невозможен без анализа природных условий. Такой методологический прием позволяет выделять из природной среды с помощью определенных критериев, выраженных

в определениях функции цели, системы хотя и абстрагированные от реальности, но четко ориентированные на решение поставленных практических задач.

Методология компенсационных мероприятий изложена в работе А. Н. Каштанова «Концепция ландшафтной контурно-мелиоративной системы земледелия» [114].

Компенсационная система ландшафтно-контурно-мелиоративного земледелия основана на контурной организации территории, включающей водорегулирующие устройства в виде валов, валов-каналов, каналов с мульчей, водонакопителей, водосбросов и других способов регулирования поверхностного стока. Все это осуществляют с учетом региональных особенностей, хозяйственной деятельности, основного использования территории в целом.

В основу построения почвозащитной системы на ландшафтной основе берутся следующие показатели:

- задержание на месте выпадения и перевод в корнеобитаемый слой рациональной величины запасов талых и дождевых вод;
- определение допустимого смыва (выдувания) почвы в пределах рекомендуемых севооборотов и эколого-ландшафтных контурных полос;
- установление неразмывающих скоростей стекания воды на склонах в пределах контурных участков и вдоль линейных водорегулирующих рубежей.

Подробная методика очередности разработки природоохранных мероприятий дана в работе «Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия» (2001), подготовленная учеными А. Н. Каштановым, В. М. Володиным, Н. И. Здоровцевым [115].

Построение компенсационной системы возможно путем сочетания различных агротехнических, лесолугомелиоративных и гидротехнических приемов с учетом ландшафтных особенностей водосбора. Выбор оптимального варианта модели противозерозионной системы для конкретных условий осуществляется на базе уже имеющихся экономико-математических и гидрологических показателей и расчетов.

Аналогичным образом в работе «Агромелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов» коллектив ученых во главе с И. С. Кочетовым (1999) предлагает конструировать системы почвозащитных мероприятий в целом для водосборов с учетом специфики эрозионно-гидрологического процесса на сильноэродированных землях присетьевого и гидрографического ландшафтных поясов [116].

Однако если исходить из методологии построения систем, то и в том и другом случае не раскрываются характеристики связей между составляющими почвозащитную систему элементами. Очевидно, что оптимизированное сочетание элементов в каждом конкретном случае должно быть строго эквивалентно интенсивности проявления поверхностного стока. В зависимости от интенсивности проявления процессов эрозии (она существенно различается в различных почвенно-климатических зонах страны), система способна «разбиваться» на составные части, каждый раз представленные по-новому. Речь идет о вариантной форме системы, в которой из всего многообразия компонентов каждого элемента на основе принципов иерархичности, целостности, внутренней организованности, инвариантности и других подбирается необходимый набор приемов и мероприятий.

Таким образом, компенсационная система должна быть агротехнически, экологически, экономически обоснована и строго дифференцирована по зонам и отдельным участкам.

По мнению В. М. Ивонина, построение компенсационных систем должно осуществляться по следующей иерархической упорядоченности составляющих эле-

ментов: защитные лесные насаждения (им отводится главенствующая роль), противоэрозионные гидротехнические сооружения, фитоформы травянистой растительности, почвозащитные агротехнологии [117]. Приведенная иерархия, по мнению этого автора, не исключает поиск компромиссов между элементами. Примером компромисса является существование лесоагроландшафтов, так как их сельскохозяйственная продуктивность определяется урожайностью культур и почвозащитной ролью лесонасаждений (лесные ландшафты обладают максимумом эрозионной стойкости и минимумом сельскохозяйственной продуктивности, аграрные – наоборот).

Компенсационная система, охватывающая целый водосбор, должна строиться на основе системного анализа. Объект исследований представляет собой сложную природно-техническую систему, дискретно управляемую с помощью мероприятий организационного, агротехнического, лесомелиоративного и гидротехнического характера. Конечные характеристики системы (смыв почвы и вызывающий его поверхностный сток) определяются как внешним воздействием, так и рядом объективно существующих причин (рельеф, свойства почвы и др.). Кроме того, на систему сильно влияют хозяйственные мероприятия, изменяющие физические и водно-физические свойства почвы, состояние и величину проективного покрытия почвы растительным покровом и пр.

В методическом плане общие положения системы компенсационных мероприятий были высказаны и частично проверены на практике на территории Воронежской губернии В. В. Докучаевым в конце XIX века [118]. В рамках системы им было предложено осуществлять:

- определение приемов обработки почвы, наиболее благоприятных для наилучшего использования влаги и большее приспособление сортов культурных растений к местным как почвенным, так и климатическим условиям;
- регулирование оврагов и балок с целью прекращения дальнейшего размывания их дна и берегов, превращение их в луга;
- регулирование водного хозяйства в открытых системах, на водораздельных пространствах, обеспечивающее эффективное использование снеговых и дождевых вод на полях, задержание их в прудах и водохранилищах для уменьшения половодий и орошения;
- использование полезащитных и мелиоративных насаждений для защиты водоемов, закрепления оврагов, песчаных массивов, предотвращения водной и ветровой эрозии почв, использование подземных вод для обводнения и орошения;
- регулирование рек для уменьшения их заиления и обмеления, предотвращения катастрофических паводков, надолго затапливающих плодородные пойменные земли;
- выработку норм, определяющих относительные площади пашни, лугов, леса и вод.

Этими положениями В. В. Докучаев создал прецедент целостного восприятия природы, т. е. подхода к регулированию природных процессов, который обеспечивал системный эффект.

В дальнейшем развитие учения о противоэрозионном комплексе связано с организацией в 1921 году Новосильской опытно-овражной станции и проводимыми на ней исследованиями А. С. Козьменко с сотрудниками.

На склоновых землях, подверженных плоскостной и линейной эрозии, был разработан и внедрен комплекс компенсационных мероприятий: организационно-хозяйственных, агротехнических, луголесомелиоративных, гидротехнических [119].

По мере накопления данных о развитии эрозионных процессов, под действи-

ем поверхностного стока, эффективности отдельных компенсационных приемов все больше обосновывалась необходимость комплексного воздействия на земли, подвергающиеся эрозии. Система компенсационных мероприятий для различных почвенно-климатических зон совершенствовалась и усложнялась [120–124].

Вовлечение в конце 50-х и начале 60-х гг. XX века в интенсивный сельскохозяйственный оборот значительных площадей ранее не используемых земель вызвало вспышку эрозионных процессов. Защита почв от эрозии в конце 60-х гг. прошлого столетия стала рассматриваться как государственная задача. В постановлении Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР (март 1967 г.) «О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии» записано, что «борьба с эрозией почв является одной из важнейших государственных задач в системе мер по дальнейшему развитию сельского хозяйства» [125]. Систематическая борьба с эрозией почв – большое общенародное дело и одна из самых неотложных проблем в стране.

Принятый в 1968 г. Закон «Основы земельного законодательства Союза ССР и союзных республик» создал правовые условия рационального использования земель, повышения их плодородия, предотвращения эрозии почв, вовлечения в хозяйственный оборот неиспользуемых угодий [126].

Уже тогда говорилось о том, что в борьбе с эрозией почв необходимо применять комплекс организационно-хозяйственных, агротехнических, лесомелиоративных и гидротехнических мероприятий. Основная задача комплекса – приостановить эрозию и восстановить плодородие эродированных почв, а на участках, где эрозия еще не наблюдается, предупредить ее возникновение, т. е. устранить причины, которые могут вызвать эрозию.

Несмотря на то, что к 70-м годам был накоплен обширный материал по отдельным приемам и мероприятиям, направленным на борьбу с эрозией и дефляцией, целостная картина системы противоэрозионных мероприятий четко не вырисовывалась. Скорее всего, речь шла о наборе различных по назначению приемов, в отдельных случаях, сочетании 2–3 приемов. Дальше всего в этом направлении продвинулись агролесомелиораторы, которые экспериментальным путем доказали высокую противоэрозионную эффективность сочетания стокорегулирующих и прибалочных лесных полос с простейшими гидротехническими сооружениями (валы, каналы, запруды и др.).

Невысокую эффективность компенсационных мероприятий можно объяснить господствующей в то время клеточно-прямоугольной организацией территории. При проектировании полей севооборотов рельеф местности практически не учитывался. В рамках клеточно-прямоугольного землеустройства осложнялось внедрение приемов, обеспечивающих задержание стока талых и дождевых вод и накопление влаги в почве. Лесные полосы, кулисы, отдельные специальные агротехнические приемы (бороздование, обвалование и др.) плохо вписывались в рельеф местности. В результате чего коэффициент их полезного действия резко снижался, что не оправдывало затрат на их проведение.

К началу 80-х годов ученые страны вплотную подошли к созданию системы компенсационных мероприятий на контурной основе. Возникло новое направление в системе ведения сельскохозяйственного производства [127]. Инициатором разработки и внедрения данной системы выступил Алтайский НИИ земледелия и селекции сельскохозяйственных культур [128].

Контурно-мелиоративное земледелие представляет собой высокоорганизованный, управляемый природно-технический комплекс (агрорландшафт), который,

в свою очередь, создается на основе особенностей строения и функционирования природных комплексов. Это обуславливает необходимость проведения ландшафтных исследований и учета их результатов при разработке и внедрении контурно-мелиоративного земледелия, что позволяет обеспечить:

- необходимую системность подхода к решению поставленной задачи;
- преемственность элементов контурно-мелиоративного земледелия различного уровня друг другу и в зависимости от ландшафтных особенностей местности.

Почвозащитная направленность системы земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории обеспечивала защиту почв от эрозии в районах со сложным рельефом и значительным удельным весом эродированных почв и оврагов. Система контурно-мелиоративного земледелия органически вписывается в существующие природные ландшафты, что ведет к созданию устойчивых, высокопродуктивных агроэкосистем.

Сущность системы заключается в следующем. На склонах круче 1° применяется взаимосвязанный комплекс компенсационных агротехнических, лесомелиоративных, лугомелиоративных и гидротехнических мероприятий и осуществляется контурная организация территории. Все ее элементы (границы полей севооборотов, рабочих участков, полосные лесные насаждения, гидротехнические сооружения, направления движения сельскохозяйственной техники при выполнении всех технологических операций по выращиванию культур) размещаются по контуру, т. е. по горизонталям рельефа или с небольшими отклонениями от них. Пространственное размещение экологоландшафтных контурных полос и линейных элементов системы на местности производится на основании гидрологических расчетов.

Сток талых и дождевых вод направляется по склонам перпендикулярно линейным рубежам, задерживается ими в расчетных объемах или частично сбрасывается в прилегающие балки по естественно или искусственно залуженным водотокам. В результате этого смыв и размыв почвы снижается до допустимых пределов, прекращается рост существующих оврагов, ликвидируются возможности возникновения новых, предохраняются от загрязнения продуктами эрозии водные объекты.

Применяется научно обоснованная, дифференцированная (в зависимости от крутизны склонов и смывости почв) система севооборотов и структура посевных площадей, а также зональная противоэрозионная технология возделывания сельскохозяйственных культур. Органические и минеральные удобрения вносятся в дозах, обеспечивающих высокие и устойчивые урожаи выращиваемых культур и исключающих их вынос поверхностным стоком.

В Западной Сибири в основу подхода к построению систем компенсационных мероприятий на контурно-мелиоративной основе были положены [129]:

- контурная организация территории с параллельной нарезкой рабочих загонов (полос-контуров);
- устройство по границам полей севооборотов постоянных противоэрозионных водонаправляющих валов-ложбин первого порядка, совмещенных с транспортирующей «излишек» воды дорожной и оросительной сетью;
- устройство внутри полей севооборотов постоянных, хорошо проходимых для сельскохозяйственной техники пологих ложбин и валов-ложбин, в отдельных случаях – временных, нарезаемых поздно осенью и заравниваемых рано весной непроходимых борозд, арыков и других водоотводящих сооружений второго порядка;
- создание по границам рабочих загонов однорядных лесных полос (кулис), совмещенных с водонаправляющими и водозадерживающими валами и ложбинами;
- устройство по трассе валов-ложбин первого порядка временных и постоян-

ных аккумуляторов твердого и жидкого стока в виде склоновых лиманов и водоемов, а в концевой части этих валов – водохранилищ с участками регулярного орошения;

- проведение культуртехнических работ, связанных с объединением обособленных рабочих участков в единые полосы-контур (первая очередь), и в целях максимально возможного вовлечения в интенсивный сельскохозяйственный оборот всех угодий – террасирование крутых склонов, раскорчевка закустаренных участков и т. п. (вторая очередь);

- глубокое щелевание, кротование, бороздование, гребнистая вспашка, лункование и проведение других агротехнических приемов, повышающих водопроницаемость почвы и увеличивающих время контакта почвы с талыми водами в полосах-контурах;

- мульчирование почвы соломой, осенний посев рапса, периодическое мелиоративное выравнивание полос-контуров для борьбы с потерями влаги через испарение;

- включение в севооборот полей с озимыми культурами и многолетними травами, а также специальных приемов борьбы с болезнями, вредителями сельскохозяйственных культур и сорной растительностью, совершенствование технологии подготовки чистого пара, а в ряде случаев использование занятого и сидерального паров;

- оставление высокой стерни и стерневых кулис, посевы кулис из однолетних культур и нарезка снежных валиков снегопахом;

- подбор культур и определение по фактическим весенним влагозапасам сроков посева и норм высева, глубины заделки семян, вносимых доз удобрений и других элементов почвозащитной технологии.

В системе преобладают линейные элементы многоцелевого действия: противоэрозионный вал-ложбина, он же – дорога и транспортирующее сооружение весной или ороситель летом. Все мелиоративные объекты, включая лиманы, водоемы и участки регулярного орошения, размещаются в наиболее подходящих для этих целей частях водосбора.

Освоение контурно-мелиоративным способом сложных по рельефу угодий в ОПХ имени В. В. Докучаева (АНИИЗИС) позволило объединить одиннадцать ранее обособленных участков общей площадью 266 га и повысить их продуктивность в четыре раза. Средняя за три года (1972–1974 гг.) урожайность сена на естественных и искусственно созданных сенокосах и пастбищах до освоения составляла 6,2 ц/га (с колебаниями по участкам и годам от 0,9 до 10,5 ц/га). Урожайность зерновых культур на этих землях в период освоения (1975–1977 гг.) составляла 22,2 ц/га с колебаниями от 8,7 до 25,6 ц/га и после освоения (1982–2000 гг.) – 23,5 ц/га с колебаниями от 14 до 25,3 ц/га [128].

В результате многолетних исследований (1982–2000 гг.) в Центрально-Черноземной зоне было установлено, что на контрольном водосборе сток талых вод 1994 г. составил 120,1 мм (близкий к 10 % обеспеченности), тогда как на вариантах с различным набором почвозащитных элементов (контурные водорегулирующие лесные полосы через 216 м и напашные валы-террасы через 54 м) он был сокращен на 76 %, смыв почвы доведен до допустимых размеров, а урожайность озимой пшеницы в среднем составила более 56 ц/га, т. е. больше на 19 %, чем на контроле. На склоне южной экспозиции, наиболее эродированном, благодаря контурной обработке и лесогидромелиоративному комплексу, прибавка озимой пшеницы составила от 14,1 до 24,6 ц/га. Следует отметить, что до закладки опыта на этих водосборах

фактический смыв от талого стока колебался от 14,8 до 29,0 т/га (1984 г.), а урожайность озимой пшеницы составляла 25,0–27,0 ц/га, т. е. в два раза меньше.

Наблюдения на экспериментальном объекте в ОПХ ВНИИЗиЗПЭ Медвенского района Курской области, состоящем из пяти ложбинно-балочных водосборов (общая площадь 271 га), продолжались в 1996–2000 гг. За пятилетний период четыре года оказались с пониженным количеством выпавших дождевых осадков, высота снега на контроле в среднем составила 16 см, тогда как на более мощных в противоэрозионном отношении вариантах была 21 см, т. е. в среднем на 31 % больше [129].

На основании особенностей проявления эрозионных процессов, анализа стока регулирующей и противоэрозионной эффективности отдельных приемов и их сочетаний ученые ВНИАЛМИ предложили систему компенсационных мероприятий в целом для водосбора. При этом учитывалась специфика эрозионно-гидрологического процесса на сильноэродированных землях присетевого и гидрографического ландшафтных поясов – эрозионных земельных фондов. В качестве основного аргумента построения системы компенсационных мероприятий приводятся осредненные величины максимального водопоглощения слоя поверхностного стока и его изменения под влиянием тех или иных приемов.

Анализируя представленные данные и литературные источники по системному подходу к защите почв от эрозии в рамках контурно-мелиоративного земледелия, можно отметить ряд нерешенных вопросов. Мало внимания было уделено оптимизации соотношения сельскохозяйственных угодий (пашня, сенокосы, пастбища, лесные насаждения и др.), оценке ресурсного потенциала земель, дифференциации их по функционально-целевому назначению и др. Все эти вопросы решаются при формировании систем земледелия на ландшафтной основе [130–133].

Существующая до недавнего времени потребительская парадигма природопользования, основанная на неисчерпаемости и возобновляемости естественных ресурсов биосферы, заменяется на воспроизводство плодородия почв и устойчивое производство сельскохозяйственной продукции. Речь идет о компромиссе между природным потенциалом земли, как средством производства, и социально-экономическим характером сельскохозяйственного производства.

Ландшафтная система земледелия включает не только почвозащитную систему земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории, но и дифференцированное размещение в зависимости от крутизны склонов и интенсивности эрозионных процессов севооборотов, различных по почвозащитной направленности, систему обработки почвы, адаптированную к каждому рабочему участку, систему удобрений для почв с разным уровнем плодородия, систему расширенного воспроизводства органического вещества почвы за счет рационального использования навоза, компостов, не кормовой соломы, сидератов, комплекс агролесомелиоративных мероприятий с созданием контурных водорегулирующих, полезащитных и овражно-балочных лесных полос, сплошного облесения сильноэродированных земель, систему водозадерживающих и водоотводящих гидротехнических сооружений [134].

В предлагаемой авторами методологии по предотвращению ущерба от поверхностного стока системой компенсационных мероприятий, впервые в отличие от ранее предлагаемых разработок первоначальное внимание было уделено выбору элементарной территориальной единицы, на которую накладываются все элементы системы. Были определены требования, которым должна она отвечать. В качестве основных из них признаны:

- четкость выделения границ;

- представлять единую функциональную систему элементов агроландшафта;
- обеспечивать оценки режима функционирования и осуществления контроля за ним.

Указанным требованиям отвечают элементарные водосборы, принадлежащие к тому или иному элементу гидрографической сети.

Поэтому в каждом конкретном случае следует исходить из одного общего требования, а именно – определять, какое может оказать влияние прилегающая территория водосбора на рассматриваемый участок (массив). Это позволит максимально учесть возможные отрицательные воздействия запредельной территории водосбора, предусмотреть соответствующие мероприятия по исключению или сведению их до минимума.

В пределах водосборных площадей вычисляется также расчлененность овражно-балочной сетью и дается их характеристика: густота оврагов ($\text{км}/\text{км}^2$), плотность оврагов ($\text{шт.}/\text{км}^2$), овражность ($\text{га}/\text{км}^2$), степень выраженности оврагами.

Особую значимость для полной характеристики эрозионного состояния водосбора имеют сведения по характеристике оврагов и балок в разрезе их типов: донные, вершинные, береговые и склоновые, а также по их эрозионному состоянию: растущие, затухающие и прекратившие рост. Кроме этих сведений приводятся данные о длине, ширине и площади каждого оврага, что позволит определить эрозионную расчлененность территории.

После определения границ водосборных площадей овражно-балочных систем и их характеристики приступают к выделению агроландшафтных полос (контуров). Необходимость их выделения обуславливается требованиями высокой степени территориальной адаптации элементов, из которых будет представлен комплекс компенсационных мероприятий.

Это достаточно сложный этап проектирования, т. к. при определении границ и размеров агроландшафтных полос необходимо внимательно изучить их эрозионно-ландшафтную характеристику: агропроизводственную группировку почв, степень эродированности, дефлированности, экспозиции склонов и уклон в градусах, типы склонов. Основными материалами, которые необходимо брать за основу при определении и выделении агроландшафтных полос, являются: почвенная карта, карта агрогруппировки почв, карта эрозии и другие материалы, раскрывающие особенности каждого конкретного участка. В качестве дополнительного материала могут быть использованы характеристики пораженности территории водосбора, хозяйства, административных районов и почвенно-эрозионных зон эрозионными процессами по процентному соотношению степеней смытости почв.

Дело в том, что каждая конкретная степень эродированности занимает определенное положение в современном агроландшафте, располагаясь в виде поясов или полос различной ширины на склонах определенной крутизны.

Исследования, проведенные в степной зоне юга Европейской территории РФ, позволили выявить общую тенденцию в пространственном размещении поясов смытых почв. Так, слабосмытые почвы занимают склоны от $0,5-0,8^\circ$ до $2,5-3,0^\circ$. Ширина полосы, занимаемая слабосмытыми почвами, составляет в среднем $480-550$ м. Среднесмытые почвы занимают преимущественно склоны от 3 до 5° , ширина полос этих почв колеблется в пределах от 150 до 210 м. Сильносмытые почвы располагаются в нижней части склона крутизной более $4,5^\circ$ и ширина их пояса не превышает $100-110$ м. Интенсивность проявления современных эрозионных процессов зачастую не совпадает с границами распространения конкретной

степени смытости, что в конечном итоге приводит к увеличению площадей смытых почв и изменчивости границ степеней смытости [135].

Агроландшафтная полоса должна рассматриваться и выделяться с позиционно-динамической ландшафтной структуры, чтобы в ее пределах интенсивность современных эрозионных процессов была однотипной по ее динамическим показателям. В пределах одной ландшафтной полосы потоки однонаправлены, а градиент их может изменяться только в зависимости от крутизны и экспозиции склона. Границы между ландшафтными полосами приурочены к определенным каркасным линиям рельефа: водораздельные линии, склоны определенной крутизны, расстояние от водораздельной линии и др.

Границы агроландшафтных полос должны быть закреплены рубежами первого порядка (стокорегулирующие, прибалочные лесные полосы, валы, канавы). В пределах первой агроландшафтной полосы проектируется система компенсационных мероприятий, за основу которой берется инженерный расчет по задержанию стока талых вод определенной степени обеспеченности (чаще всего 10 %).

Агроландшафтные полосы являются исходной технологической градацией, так как они охватывают близкие по плодородию почвы, однородные по крутизне экспозиции и форме склоны, имеют относительно одинаковые условия увлажнения, микроклиматические особенности. Поэтому они должны иметь строго определенный режим использования, набор сельскохозяйственных культур и приемов по снижению поверхностного стока до контролируемых величин.

Представленная схема разделения территории водосборов на агроландшафтные полосы, в том числе по интенсивности проявления поверхностного стока, использовалась в качестве примера для построения системы компенсационных мероприятий для степной зоны. Выбор компенсационных мероприятий не имеет однозначного решения, т. к. всегда можно подобрать несколько различных вариантов, которые обеспечили бы потери от поверхностного стока ниже допустимого уровня.

Основные требования, которым должна отвечать система компенсационных мероприятий, следующие:

- всесторонний учет природно-климатических факторов и зональных закономерностей формирования поверхностного стока;
- оптимальность соотношения организационно-хозяйственных, агротехнических, лесолугомелиоративных мероприятий и гидротехнических сооружений. Это позволит формировать компенсационные системы на основе энергосбережения;
- равнозначность всех приемов и мероприятий, составляющих систему. Одни и те же приемы и мероприятия в зонах с различной интенсивностью проявления поверхностного стока могут нести различную функциональную нагрузку, что в значительной степени будет определять вероятность их применения;
- размещение элементов компенсационной системы проводить с учетом вертикальной (склоновой) микроразнообразности, т. е. на основании деления склона на агроландшафтные полосы. Например, с увеличением длины и крутизны склона усиливается насыщенность системы приемами, мероприятиями и т. д.;
- охват компенсационной системой всей эрозионно опасной территории. Только в этом случае возможна эффективная борьба со смывом и размывом почвы;
- поддержание динамического равновесия агроландшафта и обеспечение его экологической устойчивости;
- сокращение поверхностного стока до допустимых пределов, воспроизводство почвенного плодородия и на этой основе получение устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

В общем смысле система компенсационных мероприятий – это целостная совокупность элементов, находящихся во взаимодействии. Система основывается на связи между объединенными элементами. Элемент, не имеющий хотя бы одной связи с другими, не входит в рассматриваемую систему. Поэтому системы в целом определяются не только составляющими элементами, сколько характеристиками связи между ними. Это основополагающее положение построения системы компенсационных мероприятий для различных почвенно-климатических зон. Характер этих связей конкретизируется следующими принципами: иерархичность, эмерджентность, целостность, внутренняя организованность, инвариантность и др. [136].

На основании приведенного выше анализа и оценки возможности использования различных методических подходов по назначению компенсационных мероприятий, обеспечивающих снижение ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком, можно сделать следующие выводы:

- нет утвержденных в МПР методических указаний по назначению компенсационных мероприятий, обеспечивающих снижение ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком;

- имеется ряд методологических работ, посвященных снижению водной эрозии и поверхностного стока с земель сельскохозяйственного назначения, однако исследования проводились разрозненно и в основном были направлены на снижение эрозии почвы без учета возможного размера вреда водным объектам;

- нет достаточных комплексных данных, как влияет антропогенная деятельность на размеры поверхностного стока и размеры ущерба;

- во всех имевшихся работах и методических указаниях – отсутствует методология оценки почвоохранных мероприятий.

3 КОНЦЕПЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОДНЫМ ОБЪЕКТАМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ

В России водное хозяйство было и остается одной из важнейших отраслей, обеспечивающей социально-экономическое развитие страны. Но ухудшение водной среды в последние годы приобрело угрожающий характер. В результате загрязнения, в первую очередь антропогенного, многими водными объектами утрачивается природная способность к самоочищению.

Проблема загрязнения основных поверхностных водных объектов требует неотложного решения. В большинстве случаев качество воды в них не отвечает нормативным требованиям и оценивается как неудовлетворительное почти для всех видов водопользования. Наиболее очевидной причиной загрязнения водных объектов является ежегодное поступление в них сточных вод промышленных, сельскохозяйственных, коммунальных и других предприятий.

Наряду с этим значительное количество загрязняющих веществ поступает в реки и водоемы с рассредоточенным поверхностным стоком с территории водосборов [137], который на настоящий момент практически не учитывается, так как отсутствуют соответствующие научные и методические разработки в этом направлении.

В Концепции предлагается система научного подхода к определению ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком; стратегия и тактика определения и предотвращения ущерба поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования при современном уровне и планируемом увеличении использования органических и минеральных удобрений; методология проведения полевых исследований, обобщения и анализа полученных данных.

Главенствующий принцип, заложенный в основу настоящей Концепции, заключается в том, что ущерб, причиненный поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования, возмещает владелец этих земель, т. е. «загрязнитель платит».

3.1 Стратегия определения и предотвращения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования

В России для определения ущерба от поверхностного стока в гидрологических и ландшафтных исследованиях используется бассейновый подход. Активное освоение водосборов приводит к уничтожению естественных экосистем и служит важнейшей причиной нарушений гидрологического цикла и качества воды в водных объектах.

Например, определение переноса азота на основе глобальных доиндустриальных и современных данных показало, что в реках наблюдается его резкое увеличение. Этот рост связан с расширением площадей сельскохозяйственных земель, развитием промышленности, производящей удобрения, и все большим внесением их в почву, ростом населения, а также с разрушением биомассы естественных экосистем, при котором в результате распада органики образуются растворимые соединения азота. В результате перенос азота реками удвоился, а во многих районах интенсивного сельского хозяйства он вырос в пять раз [18].

Многие реки в результате перегрузки тяжелыми металлами, пестицидами,

органикой полностью потеряли способность к самоочищению, которое начинается не в русле, как это обычно считается, а на водосборе при формировании склонового поверхностного стока, и идет при участии растительности и почвенных организмов. Это исключительно важный этап, так как на многих водосборах существенную роль в загрязнении воды играют сухие и мокрые атмосферные выпадения различных поллютантов. Это означает утрату важнейшей экологической функции – обеспечения и сохранения качества воды [10, 138, 139].

Таким образом, только сохранение и восстановление окружающей среды на водосборах рек в необходимом объеме позволит перейти к устойчивому водопользованию, сбалансированности гидрологического цикла, восстановлению естественного водного режима водных объектов, способности в масштабах водосбора поддерживать естественное качество воды. При этом наиболее значительная часть территории водосборов в большинстве стран мира (из крупных стран, богатых водными ресурсами, исключениями останутся Россия, Канада и Бразилия) по-прежнему будет использоваться в сельском хозяйстве, но здесь необходимо обеспечить максимально возможное приближение водного режима и качества вод к естественному, современные достижения агротехники позволяют в принципе добиться в этом направлении неплохих результатов [140–142]. Однако в настоящее время еще достаточно мало научных разработок в сфере оценки влияния различных факторов на величину и качественные показатели диффузного стока с сельскохозяйственных территорий. Для решения подобных проблем важным инструментом могут быть показатели, характеризующие состояние водосбора, основные ведущие процессы на нем, нарушающие постоянно поддерживаемое водопользование, и показатели, отражающие последствия ведущих процессов.

3.1.1 Приоритетные цели и задачи

Для решения возникших проблем МПР России в 1997–2004 гг. были разработаны и разрабатываются в настоящее время долгосрочные программные документы, такие как «Доктрина устойчивого водопользования», «Государственная стратегия использования, восстановления и охраны водных объектов России», «Концепция совершенствования и развития государственного управления использованием и охраной водных ресурсов и водохозяйственным комплексом Российской Федерации», «Национальная программа действий по совершенствованию и развитию водохозяйственного комплекса России на перспективу «Вода России – XXI век». В этих документах отмечено, что бассейновый принцип управления качеством водных ресурсов и водопользованием – необходимое условие решения названных проблем, это подтверждается и опытом большинства стран Европейского Союза и Северной Америки.

Законодательная база явно недостаточна для практической реализации программ перехода к устойчивому водопользованию. В этих документах намечаются меры по развитию законодательной базы, однако не фиксируются некоторые базовые принципы (например, как оценить ущерб, наносимый поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования, где следует определять меры по платности негативных воздействий на водные объекты – в водном или экологическом законодательстве, как сочетать бассейновый принцип с административным делением сельскохозяйственных территорий, который является определяющим при решении финансовых вопросов, и т. п.).

Вместе с тем для каждой природно-климатической зоны характерна та или иная специфика ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхност-

ным стоком с земель сельскохозяйственного назначения. Поэтому проблемы загрязнения и деградации сельскохозяйственных территорий, на которых формируется поверхностный сток, целесообразно рассматривать по отдельным природно-климатическим зонам, в пределах которых расположены водосборные бассейны. В данной Концепции выделены следующие зоны: аридная, сухостепная, степная и гумидная.

В аридной зоне поверхностный сток формируется на сельскохозяйственных землях, которые характеризуются развитыми эрозионными процессами, дегумификацией, засолением, близким залеганием уровня грунтовых вод, загрязнением почв тяжелыми металлами.

В степной и сухостепной зонах поверхностный сток формируется на сельскохозяйственных землях, отличительными особенностями которых являются сработка запасов гумуса, эрозия, дефляция, засоление, осолонцевание, слитизация, переуплотнение и др.

Для гумидной зоны условия, формирующие среду образования поверхностного стока, характеризуются переувлажненными и подкисленными почвами, сработкой гумуса, торфа, водной эрозией.

Для всех зон характерна минерализация вод поверхностных водных объектов и загрязнение почв минеральными и органическими удобрениями. Но при этом следует учесть состав и свойства удобрений. В современном ассортименте комплексных удобрений ведущее место отводится удобрениям, в которых около 50–60 % занимают водорастворимые формы, и вероятность их смыва с поверхностным стоком еще более увеличивается.

Одним из первых шагов для решения проблем в части нормативного и научно-методического обеспечения определения ущерба является разработка научно-методической основы определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования и назначения компенсационных мероприятий при современном уровне и планируемом увеличении использования органических и минеральных удобрений, которая ранее никем не разрабатывалась.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- провести анализ действующих в России и за рубежом нормативно-методических актов в сфере определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком, а также методов определения компенсационных мероприятий;

- провести анализ и оценить возможность и границы использования Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, и др. ранее сделанных наработок, методических подходов и аналитических материалов при статистико-экономическом методе исследования проблемы поверхностных загрязнений водных объектов;

- проанализировать состав и структуру данных государственного мониторинга водных объектов, государственного водного кадастра по качеству водных ресурсов и данных государственного водного реестра с выделением показателей по основным сельскохозяйственным регионам;

- провести полевые и лабораторные исследования и установить зависимости величины и качества поверхностного стока от типа почвы; уклона местности; степени распаханности; содержания в почве гумуса и биогенных веществ; вида куль-

тур; вида и дозы применяемых минеральных и органических удобрений и др. факторов и показателей;

- разработать Методические указания по определению ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком;

- разработать Методические указания по назначению компенсационных мероприятий по снижению размера ущерба от поверхностных стоков;

- научно обосновать и разработать автоматизированные модели расчета ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком, в том числе и стоком с земель сельскохозяйственного назначения.

Оценка ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования, и назначения компенсационных мероприятий при современном уровне и планируемом увеличении использования органических и минеральных удобрений зависит от социально-экономических и экологических аспектов. Все проработанные методики по оценке ущерба основаны на суммировании нескольких видов ущерба.

Некоторые авторы, учитывая отечественное законодательство и международную практику, предлагают в расчет вреда включать [14, 143, 144]:

- затраты на ликвидацию негативных последствий: рекультивацию и реабилитацию территории, устранение загрязнения воды и воздуха;

- стоимость утраченных или поврежденных природных объектов – зеленых насаждений, почвы, местообитаний животных, самих животных;

- стоимость потери экосистемных услуг (природоохранных и рекреационных функций), выполняемых экосистемами – если возможно подсчитать;

- убытки от снижения стоимости недвижимости – если возможно подсчитать;

- убытки от недополучения платежей за природные ресурсы (упущенная выгода);

- проценты на суммы средств, отвлекаемых для ликвидации отрицательных последствий (упущенная выгода);

- убытки от причинения вреда здоровью жителей (возможны различные схемы расчетов).

Минимальный размер убытков можно определять по затратам на реабилитацию территории и устранение загрязнения водной среды и стоимости поврежденных или разрушенных природных объектов (почвы, растительности, животных и их потомства и др.).

Что касается разрабатываемых авторами Методических указаний по определению ущерба, наносимого поверхностным водным объектам, то они базируются на определении биогенных элементов и расчета ущерба от потерь удобрений, снижения плодородия и вреда наносимого непосредственно рекам, озерам и т. д. в пределах определенного водосбора. Поэтому при оценке ущерба и подсчете убытков, наносимого поверхностным стоком, необходимо учитывать следующее:

- количество вносимых удобрений и их вынос с диффузным стоком;

- потери плодородия почвы и недополучение урожая;

- заиление прудов, озер, рек илом и затраты на их расчистку;

- вместе с минеральными и органическими удобрениями вносятся загрязнители в виде тяжелых металлов, органических и неорганических соединений, что требует определенных затрат на очистку загрязненных вод;

- восстановление канализационных сетей и водохранилищ, поврежденных вследствие заиления поверхностным стоком;

- при заилении водных источников сокращаются запасы воды, поэтому следует учитывать и этот фактор.

Основной проблемой назначения компенсационных мероприятий на землях сельскохозяйственного использования является предотвращение процессов деградации почв: ликвидация процессов эрозии, дегумификации, засоления, подтопления, заболачивания, загрязнения тяжелыми металлами и др.

Компенсационные мероприятия по предотвращению ущерба поверхностным водным объектам должны включать в себя мероприятия по регулированию потоков вещества и энергии в почве, растениях, поверхностных и грунтовых водах.

Отечественный и зарубежный опыт назначения такого рода мероприятий показывает, что регулирование потока вещества и энергии в одном из упомянутых блоков проблем, и тем более одного из потоков (например, борьба только с эрозией почв), неприемлемо, так как формирование поверхностного стока и всех его характеристик, определяющих в дальнейшем ущерб поверхностным водным объектам, является результатом совместных действий процессов, происходящих в почве, растениях и водах.

Таким образом, компенсационные мероприятия должны быть комплексными как в смысле совместного применения различных способов и приемов, так и в смысле системного применения их на всей площади сельскохозяйственных угодий, на которой формируется поверхностный сток. Компенсационные почвозащитные мероприятия могут иметь место только при проведении обязательных мероприятий по защите водных объектов, а именно мероприятий по оздоровлению всех геосфер окружающей среды, создание зон санитарной охраны водозаборов и водоохранных зон, строительство противofiltrационных экранов под источниками загрязнения поверхностных вод, а также строгое соблюдение правил применения минеральных и органических удобрений.

Для снижения негативных последствий от поверхностного стока также необходимо выполнение принципов, лежащих в основе формирования природных экосистем. Еще В. В. Докучаев в 1891 г. писал о необходимости разработки «норм, определяющих относительные площади леса, воды, лугов и пашни, которые должны быть соображены с местными климатическими, грунтовыми, почвенными условиями», т. е. о соблюдении оптимальных пропорций между различными видами естественных и сельскохозяйственных угодий, проведении соответствующего комплекса компенсационных мероприятий.

3.1.2 Экологические и социально-экономические аспекты охраны поверхностных водных объектов

Учет объемов и качества поверхностного стока – важнейшее условие регулирования экологического состояния водоемов. Наблюдения за изменением качества воды водоемов выявили существенное отрицательное влияние поверхностного стока с сельскохозяйственных территорий на водные объекты [145].

Роль воды как социально-экономического фактора непрерывно возрастает. Мировая потребность в воде уже превышает половину среднегодового стока рек, а подавляющее большинство рек загрязнено [146]. Социально-экономическая значимость водных объектов оценивается с позиции их необходимости для физического обеспечения жизни человека, флоры, фауны, для существования общества, функционирования экономики и, кроме того, как ценнейшего элемента природного ландшафта [147].

По оценкам МПР России, стоимость основных производственных фондов

водохозяйственного комплекса составляет 350 млрд руб. (в ценах 2005 г.). По отраслевой принадлежности фонды распределяются (млрд руб.) следующим образом: сельское хозяйство – 100, промышленность – 95, жилищно-коммунальное хозяйство – 70, гидроэнергетика – 50, водный транспорт – 20, рыбное хозяйство – 6, организации МПР России – 6 [8].

Загрязнение почв, подземных и поверхностных вод, нарастание дефицита воды по количественным и качественным показателям, формирование зон напряженной экологической ситуации и снижение эффективности производства в агропромышленном комплексе определяют необходимость создания методологии экологически обоснованного водопользования, которая содержит ряд направлений: экологические, экономические, организационно-правовые, технические и социальные [8].

Экологические проблемы включают загрязнение, истощение, деградацию водных экосистем и подземных вод, неравномерность распределения водных ресурсов, неполноту экологического нормирования водопользования по количественным и качественным показателям.

Экономические реформы водного хозяйства АПК значительно отстают от реформирования экономики в целом [146, 148]. Практически не внедряются экономические методы регулирования качества воды. Наряду с признанием воды как важнейшего компонента биосферы, производственного ресурса важным является признание воды экономическим ресурсом для создания надежной финансовой основы водохозяйственной деятельности.

В сложившейся ситуации кардинальное решение проблемы финансирования водохозяйственной деятельности может быть достигнуто только за счет введения на всей территории России платного водопользования [137]. При этом должно экономически стимулироваться рациональное использование воды и охрана водных источников.

Организационно-правовые проблемы включают несовершенство систем управления, мониторинга и контроля водохозяйственной деятельности, отсутствие единой методики определения допустимого воздействия на водные объекты.

Технические проблемы включают износ и старение основных производственных фондов, непроизводительные расходы и потери воды, несовершенство технологии водосбережения, очистки и регулирования качества воды, отсутствие системы учета и контроля количества и качества потребляемой и отводимой воды.

Износ и старение мелиоративных производственных фондов, ухудшение технического состояния гидроузлов и береговых зон водохранилищ обуславливают повышенные эксплуатационные затраты, связанные с риском прекращения подачи питьевой воды, возникновения катастроф и экологических бедствий: прорыв плотин, размыв и разрушение берегов, дамб и, соответственно, наводнения, подтопления, заболачивание и засоление земель, эрозия почв.

Социальные проблемы включают рост заболеваемости, снижение жизненного уровня сельского населения и снижение качества сельскохозяйственной продукции, несовершенство защиты населения от наводнений, подтоплений, водной эрозии, засухи [149].

В условиях нарастающей антропогенной нагрузки на природные ландшафты и водные экосистемы, загрязнения и деградации земель и водных источников определяющее значение в сфере деятельности человека приобретает экологически обоснованный подход в природопользовании, особенно к почвенным и водным ресурсам. Сохраняя почвенный покров, одновременно будет решаться и проблема чистоты водных источников.

3.2 Поверхностный сток с земель сельскохозяйственного назначения

Поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий является основным поставщиком в водные объекты органического вещества, биогенных элементов и тяжелых металлов. Некоторые вещества, накапливаясь в донных отложениях, переходят в токсичные формы. Обогащенность поверхностного стока различными элементами во многом определяется свойствами и дозами современных форм вносимых удобрений. Практически эти вопросы пока мало изучены.

Изучая перенос биогенных элементов и загрязняющих веществ (ЗВ) неорганизованным стоком с водосбора, согласно нормативным документам в качестве самого неблагоприятного периода принимается межень. Однако, как утверждают специалисты, практика в ряде случаев не подтверждает справедливость такого вывода, отмечено, что большое количество ЗВ поступает в водоисточники в период повышенной водности в результате неорганизованного стока с поверхности водосбора и атмосферных поступлений, а именно при ливневых дождях и паводках. В это время 70 % биогенного загрязнения водотоков приходит с сельскохозяйственных угодий [150, 151].

Для научно обоснованного планирования комплекса компенсационных мероприятий необходимо принимать во внимание все источники поступления загрязняющих веществ в водные объекты с поверхностным стоком.

Важнейшим инструментом управления качеством поверхностного стока является мониторинг. Система мониторинга включает наблюдения за качеством поверхностного стока и оценку фактического состояния водных объектов. Необходимо создать информационно-моделирующие комплексы (ИМК). Для формирования баз данных ИМК необходимы сведения по использованию земель, их качеству, структуре сельскохозяйственных угодий, внесению удобрений, по урожайности. На основе этих данных рассчитывается по определенной методике вынос биогенных элементов с сельскохозяйственных объектов, т. е. величина поверхностной нагрузки на водные объекты.

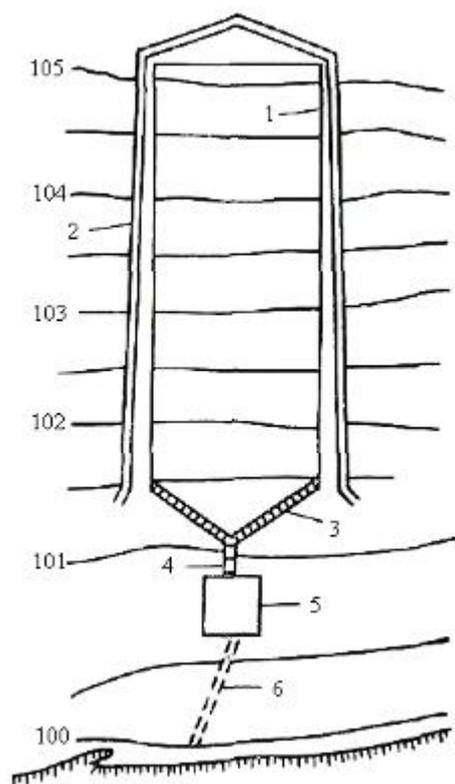
Еще один инструмент управления – государственный водный кадастр. Однако он не отвечает современным требованиям. Гидрологическая информация не обновлялась уже много лет. Гидрохимическая информация и информация по использованию вод не публикуется в официальных ежегодниках, как прежде.

В состав обследуемых сельскохозяйственных территорий должны входить не только земли на водосборах, но и их водоохранные зоны. В этих зонах устанавливается специальный режим хозяйственной деятельности, в том числе ограничивается интенсивное сельскохозяйственное использование земель.

3.2.1 Основные методы изучения поверхностного стока и смыва почвы

Основной метод изучения поверхностного стока – комплексные полевые наблюдения. Такие наблюдения проводятся на специально оборудованных стоковых площадках, а также на малых водосборах ручьев, балок, логов и оврагов [152].

Стоковые площадки представляют собой изолированные от окружающей местности участки склона, оборудованные измерительными устройствами для учета стекающей с их поверхности воды (рисунок 6). Они применяются для изучения влияния крутизны, длины и экспозиции склонов, состава и состояния почвогрунтов, характера обработки почвы и применения противоэрозионных агротехнических мероприятий, видов сельскохозяйственных культур и стадии их развития на поверхностный сток и процессы эрозии. Стоковые площадки могут быть постоянными и временными, т. е. убираемыми на период обработки почвы для уборки урожая.



1 – бортик площадки; 2 – водоотводящие капаны; 3 – водоприемный лоток;
4 – водоподводящий лоток (труба); 5 – измерительный павильон;
6 – сбросная канализационная труба

Рисунок 6 – План участка стоковой площадки

Измерения поверхностного стока на стоковых площадках и малых водосборах сочетаются с наблюдениями за всеми гидрометеорологическими факторами. Выполняется единый комплекс работ, в состав которого входят:

- наблюдения за стоком воды, наносов и растворенных веществ с водосборов ручьев, балок, логов и со склонов (на стоковых площадках);
- метеорологические наблюдения;
- наблюдения за влажностью почвы;
- наблюдения за распределением снежного покрова и определение запасов снеговой воды;
- наблюдения за глубиной промерзания и оттаивания почвы;
- определение инфильтрационной способности мерзлой почвы;
- определение урожая сельскохозяйственных культур.

Для изучаемых объектов должны быть получены за каждый год надежные данные о стоке наносов и воды, а также о гидрометеорологической обстановке – запасе воды в снеге перед началом снеготаяния, ходе освобождения склонов водосбора от снежного покрова, наличии ледяной корки, глубине промерзания, ходе оттаивания и влажности почвы, количестве и интенсивности жидких осадков.

Для всех объектов изучения поверхностного стока следует описать почву и определить ее агрогидрологические (водно-физические) свойства. Пробы отбираются в пределах стоковой площадки с учетом наименьшего повреждения естественной обстановки. В характеристику участка должны войти следующие показатели: вся площадь; тип почвы; показатели свойств почв – гранулометрический и микроагрегатный составы, плотность, водопроницаемость, водорастворимые соли, рН,

состав почвенного поглощающего комплекса (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}), гумус (NPK); уклон; эродированность; длина склона; пересеченность склона ложбинами; окаймленность лесополосами (отношение длины всех защитных полос и опушек к длине границ всех полей); опасность оврагообразования (отношение длины границ полей, примыкающих к оврагам и балкам, ко всей длине границ полей).

На водосборах отбор проб производится таким образом, чтобы охарактеризовать все основные почвенные разности.

В большинстве случаев образцы почвы берут на глубину пахотного слоя или до глубины 1 м, в отдельных случаях (по специальным заданиям) – от 0,5 до 1,5 м. Там, где материнские породы и галечники встречаются на меньшей глубине, определение агрогидрологических свойств почв производится до глубины залегания этих пород.

В пределах стоковых площадок водно-физические свойства почвы определяются на почвах различной степени смывости, а при изучении различных угодий (зябь, луг, лесная полоса) водно-физические свойства определяются на каждом из них.

В зависимости от протяженности склонов и цели опыта рекомендуются площадки следующих размеров (в метрах): 50×400 ; 50×300 ; 50×200 ; 40×200 ; 40×150 ; 30×200 ; 30×150 ; 30×100 ; 30×50 .

По контуру стоковая площадка ограждается бортиками (земляные, металлические, бетонные), кроме нижней стороны, по всей длине которой оборудуется водоприемный лоток с козырьком, обеспечивающий поступление воды в измерительное устройство.

3.2.1.1 Определение жидкого стока

Сток талых и ливневых вод на стоковых площадках может измеряться с помощью гидрометрических лотков, тонкостенных водосливов методом замера воды точно вымеренной тарой и с помощью специальной измерительной аппаратуры (например, делительных лотков и т. д.).

Определение стока талых и дождевых вод является одной из наиболее сложных и ответственных задач во всем комплексе исследований поверхностного стока. Трудность измерений связана с быстрыми изменениями величин стока воды. В связи с этим необходимо в течение всего периода стока производить частые замеры, которые обеспечили бы полный учет всех колебаний расходов воды.

Расходы воды вычисляются в $\text{см}^3/\text{с}$ и записываются с округлением до трех значащих цифр, но не точнее $1 \text{ см}^3/\text{с}$.

Для изучения влияния интенсивности осадков на сток может быть применен метод искусственного дождевания. Для проведения искусственного дождевания можно использовать дождевальные установки конструкции ОГМИ, позволяющие имитировать осадки заданной интенсивности на площадке размером 1×1 м. Аналогичные дождевательные установки и стоковые площадки сконструированы в ФГБНУ «РосНИИПМ».

3.2.1.2 Определение стока наносов

Наблюдения за стоком наносов на стоковых площадках и в гидрометрических створах на логах и балках проводятся с целью получения количественных характеристик поверхностного стока и установления зависимости интенсивности смыва почвогрунтов со склонов и малых водосборов от основных определяющих факторов.

Выделение наносов из пробы производится путем фильтрования, автоматического или под давлением, через обеззоленные, заранее подготовленные (взвешенные) фильтры. Для ускорения фильтрования рекомендуется производить предварительную коагуляцию пробы 20-процентным раствором хлористого кальция и слив чистой (отстоявшейся) воды с помощью сифона.

Количество наносов в пробе определяется по разности весов фильтра с наносами и чистого фильтра. Перед взвешиванием фильтры сушатся в открытых стеклянных бюксах в термостате при температуре 105–110 °С (чистые фильтры – 2–3 ч, с наносами – 5 ч). По истечении указанного времени бюксы с фильтрами закрываются и ставятся на 30–40 мин в эксикатор для охлаждения. Взвешивание производится на аналитических весах.

При очень большом содержании наносов в воде, делающем фильтрование проб практически невозможным, рекомендуется определять мутность воды путем непосредственного взвешивания взятой пробы. В этом случае мутность вычисляется по формуле:

$$S = \frac{(G_1 - G_2)\rho \cdot 10^{-6}}{V(\rho - 1)}, \quad (17)$$

где S – мутность воды, г/м³;

G_1 – вес бутылки с пробой, г;

G_2 – вес бутылки с чистой водой, г;

ρ – плотность частиц наносов, г/см³;

V – объем взятой пробы, см³.

Смыв со стоковых площадок определяется следующим образом:

1 Подсчитываются расходы взвешенных наносов P_S за каждый срок отбора проб воды как произведение мутности S на расход воды Q . Расходы взвешенных наносов выражают в г/с. Если S выражена в г/м³, Q – в см³/с, то расход взвешенных наносов равен $P_S = 10^{-6} S Q$ г/с. Если S выражена в г/м³, Q – в л/с, то $P_S = 10^{-3} S Q$ г/с.

Например, $S = 500$ г/м³, $Q = 70$ см³/с, $P_S = 10^{-6} \cdot 500 \cdot 70 = 0,035$ г/с;
 $S = 500$ г/м³, $Q = 7$ л/с, $P_S = 10^{-3} \cdot 500 \cdot 7 = 3,5$ г/с.

2 Определяется суммарный смыв с площадки за сутки по данным срочных измерений расходов взвешенных наносов с учетом наносов, отложенных в водоподводящих лотках выше места отбора проб. Расчет ведется с использованием программного обеспечения на ПК по формуле:

$$\Pi_{\text{сут}} = 10^{-3} \left(\frac{P_{SO} + P_{S1}}{2} \Delta T_1 + \frac{P_{S1} + P_{S2}}{2} \Delta T_2 + \dots + \frac{P_{S_{n-1}} + P_{S_n}}{2} \Delta T_n \right) + G, \quad (18)$$

где $\Pi_{\text{сут}}$ – суточный смыв с площадки, кг;

P_{SO}, P_{S_n} – расходы взвешенных наносов, г/с, в 0 и 24 ч данных суток;

$P_{S1}, P_{S2} \dots P_{S_{n-1}}$ – (промежуточные значения расходов взвешенных наносов, г/с, вычисляемые для всех сроков измерения мутности, а также для переломных точек гидрографа стока воды путем умножения расхода воды на интерполированное значение мутности;

$\Delta T_1, \Delta T_2 \dots \Delta T_n$ – интервалы времени, с;

G – вес наносов, отложенных в лотках за сутки, кг.

3 Подсчитывается суммарный смыв с площадки за период стока или любой календарный отрезок времени путем суммирования суточных значений смыва $\Pi_{сут}$.

3.2.2 Выбор показателей поверхностного стока с земель сельскохозяйственного назначения

Выбор показателей поверхностного стока основывается на необходимости получения связей количественного и качественного состава поверхностного стока с состоянием почв, всего водосбора и водных объектов для каждой природной зоны.

Применительно к сельскохозяйственным угодьям, расположенным в границах водосборов, набор показателей должен быть таким, чтобы была возможность определить:

- пределы регулирования эрозионных процессов на орошаемых и богарных агроландшафтах;
- пределы регулирования уровня грунтовых вод;
- направление и величину влагообмена между почвой и грунтовыми водами;
- количественный и качественный анализ стока воды и смыва почв в зависимости от уклона местности, экспозиции склона – наличие биогенных веществ в почве и других условий.

Для этого необходимо определять:

- уровень грунтовых вод, их минерализацию и химический состав;
- влажность почвы и ее водно-физические свойства (структурность, плотность, водопроницаемость);
- физико-химические свойства почв (состав водорастворимых солей, в том числе токсичных, рН водной суспензии, ППК (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}), NPK, рН, гумус);
- состав жидкого стока – мутность, нитраты, аммоний, нитриты, фосфаты.

Аналогичные показатели определяются в твердом стоке, кроме мутности и дополнительно делается гранулометрический состав, плотность частиц наносов и содержание в них органического вещества.

3.3 Современные и планируемые объемы применения удобрений и прогноз изменения состава поверхностного стока

Согласно статистическим материалам [153], наибольшие объемы внесения минеральных и органических удобрений применялись до 1990 г. Так, в 1990 г. объемы минеральных удобрений составили 9,9 млн т, а органических – 389,5 млн т (таблица 17) [154].

Таблица 17 – Объемы внесения удобрений в сельскохозяйственных предприятиях

Фактическое внесение					
1990 г.	1995 г.	2000 г.	2004 г.	2005 г.	2013 г.
Минеральные удобрения, млн т					
9,9	1,5	1,4	1,4	1,5	1,86
Органические удобрения, млн т					
389,5	127,4	66,0	53,2	50,0	55,7

Под пропашные сельскохозяйственные культуры, например, на черноземах Ростовской области, вносили в среднем $\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{60}$, а органических – 25–40 т/га

за ротацию севооборота. Уже к 1995 г. их объемы внесения соответственно сократились в 6,6 раза и в 3,1 раза. До 2005 г. минеральные удобрения применялись практически в одинаковых объемах, а внесение органики из-за высокой стоимости перевозки уменьшилось по сравнению с 1990 г. в 7,8 раза, а с 1995 г. – в 2,5 раза.

В 2013 году объемы внесения минеральных удобрений составили 1,86 млн т д. в., а органических – 55,7 млн т [154].

Это гораздо меньше, чем вносилось в 1990 г., но необходимо учитывать, что современные удобрения хорошо растворимы в воде и значит более подвижны (например, хелатные формы), поэтому вероятность загрязнения водных источников биогенными элементами с поверхностным стоком с сельскохозяйственных угодий возрастает.

Если исходить из того, что в среднем 50 % внесенных минеральных удобрений используется растениями, 25 % закрепляется почвой, а 25 % – теряется из почвы за счет поверхностного стока и вымывания вглубь, то при увеличении объемов минеральных удобрений в 2013 г. до 1,86 млн т – 0,46 млн т унесется в водоемы с поверхностным стоком. Такая же картина складывается с поступлением органических удобрений в поверхностный сток. Например, при внесении навоза растениями используется только 25 % его NPK, 35 % закрепляется почвой и примерно 40 % теряется при смыве.

Качественный состав поверхностного стока находится в прямой зависимости от состава удобрений. Для оценки потенциального выноса веществ в водные объекты важную роль играет растворимость минеральных удобрений в воде. Наиболее растворимыми являются азотные удобрения, такие как аммиачная селитра, мочеви́на, сульфат аммония и т. д. Фосфорные и калийные, а также тяжелые металлы, находящиеся в почве, менее растворимы и менее подвижны [155–159].

В современном ассортименте комплексных удобрений ведущее положение занимает аммофос, на долю которого приходится по разным источникам 10–13 % всего количества удобрений или 45–55 % всех сложных форм; около 6 % всех удобрений или 20,3 % всех сложных форм составляют трехкомпонентные удобрения с выровненным соотношением питательных веществ (1:1:1). Они представлены преимущественно нитроаммофоской, нитрофоской, карбоаммофоской, азофоской [160–164].

На данный момент особое внимание уделяется смешанным удобрениям, выполняющим не только удобрительные функции, но и стимулирующим рост растений, процессы формирования качества урожая, в частности, накопления белка, усиливающим процессы реутилизации элементов питания из вегетативных органов.

Широкое распространение в последние годы получило новое комплексное безбалластное удобрение норвежской компании «Гидро Агри» – Кристалон [165]. Все элементы питания содержатся в водорастворимой форме. Микроэлементы находятся в форме хелатного комплекса с ЭДТА. Это легко растворимые в воде и доступные растениям соединения, которые практически не закрепляются почвой, как простые соли, они не разрушают органические структуры действующего вещества пестицидов, что делает возможным совмещение обработок, но возрастает вероятность их попадания с поверхностным стоком в водные объекты. В отличие от гуматов Кристалон – строго соответствует сертификату анализа [166].

Органические удобрения, как и минеральные, содержат загрязнители. Значительное количество тяжелых металлов попадает в почву с навозом и птичьим пометом. Содержание в них тяжелых металлов обуславливается не только составом кормов, но и широким применением кормовых добавок, содержащих медь, цинк, кобальт, селен, железо. Исследования краснодарских ученых показывают, что в наво-

зе, полученном при откорме КРС, по сравнению с навозом от молочного стада, меди содержится больше в 4,5 раза, свинца – почти в 2 раза, молибдена – в 3 раза [167].

В последние годы возрастает применение новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур, связанных с созданием новых высокоурожайных сортов, более требовательных к уровню плодородия почв, что, несомненно, приведет к повышению доз внесения минеральных и органических удобрений и соответственно, без применения предупредительных компенсационных мероприятий, загрязнению водных источников.

Для разработки научно-методической основы определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования, необходимо располагать данными о динамике производства и использования минеральных и органических удобрений как в масштабе страны, так и по территориальным административным образованиям и водосборным бассейнам. Для условий России подобная информация, полученная в результате анализа и обобщения публикаций [154, 168–172], содержится в таблице 18, а ее графическая интерпретация – на рисунках 7 и 8.

Таблица 18 – Производство и потребление минеральных и органических удобрений в России

Год	Минеральное удобрение					Органическое удобрение		
	произведено, млн т д. в.	поставлено, млн т д. в.	внесено		удельный вес удобренной площади, %	внесено		удельный вес удобренной площади, %
			всего, млн т	на 1 га посева, кг		всего, млн т	на 1 га посева, т	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1970–1974	7,5	5,4	–	–	–	–	–	–
1975–1979	10,7	8,3	–	–	–	–	–	–
1980–1984	13,5	10,2	–	–	–	–	–	–
1985–1989	18	13,3	–	–	–	–	–	–
1970	–	4,3	3,3	28	36	203,7	1,7	–
1975	–	7,9	6,0	49	48	304,8	2,0	–
1980	–	8,9	7,5	62	58	380,7	3,1	9,0
1985	17,3	12,7	9,8	85	71	417,9	3,6	8,0
1990	16	11	9,9	88	66	389,5	3,5	7,4
1991	15	10,1	–	–	–	347	–	–
1992	12,3	5,5	–	–	–	269	–	–
1993	9,9	3,7	4,3	46	45	241,2	2,6	5,2
1994	8,3	1,4	2,1	24	29	164,2	1,8	3,9
1995	9,6	1,6	1,5	17	25	127,4	1,4	3,2
1996	9,1	1,6	1,5	17	25	107,8	1,2	2,9
1997	9,6	1,6	1,5	18	27	67,0	1,0	2,4
1998	9,4	1,1	–	–	–	72	–	–
1999	11,5	1,2	–	–	–	70	–	–
2000	12,2	1,3	1,4	19	27	66,0	0,9	2,2

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2001	13,1	1,5	1,3	19	28	59,6	0,8	2,3
2002	13,7	1,4	1,3	19	28	61,0	0,9	2,4
2003	14	1,3	–	–	–	59,5	–	–
2004	14,4	1,5	–	–	–	54,3	–	–
2010	2,4	1,9	–	–	–	53,1	–	–
2011	2,5	1,9	–	–	–	52,6	–	–
2012	2,5	1,9	–	–	–	54,2	–	–
2013	2,4	1,9	–	–	–	55,7	–	–

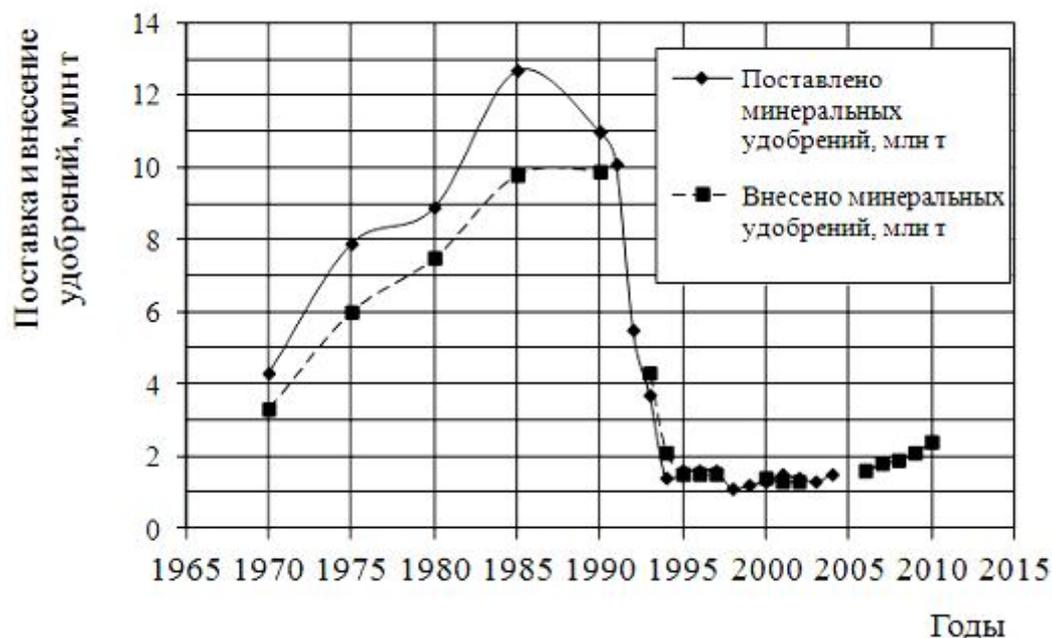


Рисунок 7 – Динамика поставки и внесения минеральных удобрений в России

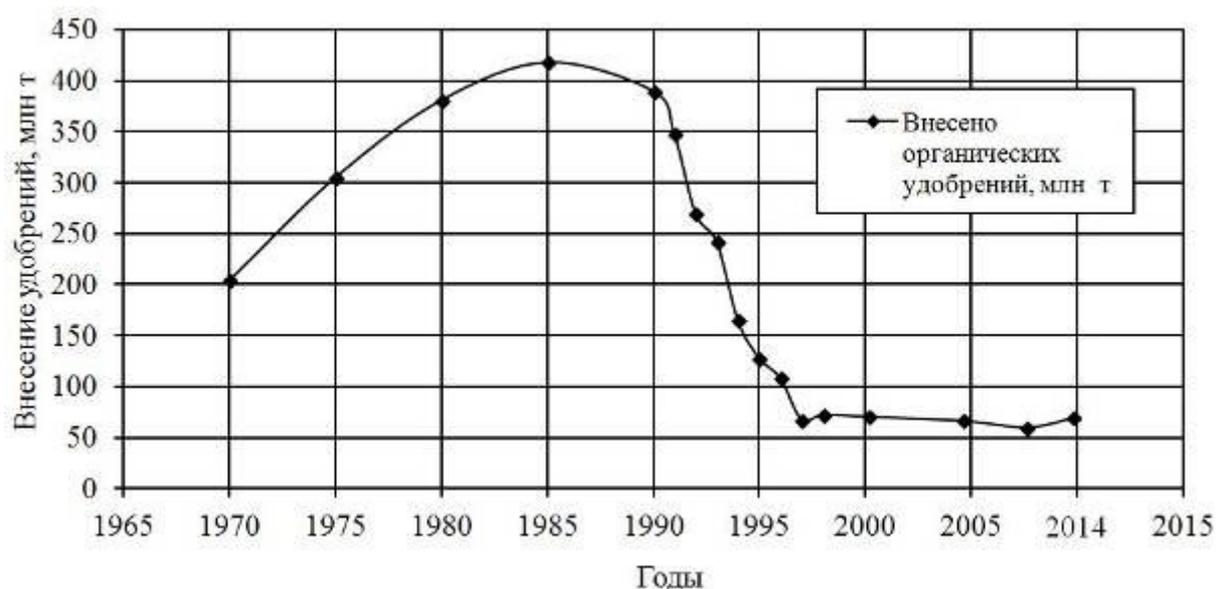


Рисунок 8 – Динамика внесения органических удобрений в России

Для сравнения дополнительно приведем данные World Resources Institute об использовании минеральных удобрений в различных странах мира (таблица 19).

Таблица 19 – Потребление минеральных удобрений в странах мира в 2000 г. (по данным World Resources Institute)

Страна	Внесение минеральных удобрений, кг д. в./га посева
Ирландия	594,5
Нидерланды	450,2
Египет	385,8
Япония	301
Великобритания	285,8
Вьетнам	285,3
Израиль	256
Китай	255,6
Новая Зеландия	255,5
Германия	228,2
Норвегия	222
Франция	211,7
Узбекистан	149,9
Белоруссия	128,7
Бразилия	114
США	103,4
Индия	98,6
Россия	15,9

Как следует из материалов таблиц 18 и 19, современные дозы внесения удобрений в отечественном сельском хозяйстве значительно ниже, чем в странах с развитым аграрным сектором, а их «увеличение» в соответствии с Федеральной целевой программой «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 годы» не позволяет прогнозировать существенного увеличения загрязнения водных объектов поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования.

Неоднородность климатических, геоморфологических и гидрогеологических условий территории Российской Федерации определяет разнообразие форм проявления поверхностного стока с сельскохозяйственных угодий, расположенных на водосборах поверхностных водных объектов. Более трети территории России занимают регионы с выраженной вертикальной зональностью почвенного покрова. Современное экологическое состояние водных ресурсов характеризуется существенным загрязнением поверхностных вод, особенно в Европейской части страны в районах интенсивного земледелия и размещения крупных сельскохозяйственных животноводческих комплексов. По направлению к югу, в соответствии с изменением климатических условий и почвенного покрова (от почв таежной и лесной зон к почвам лесостепной, степной зон и далее к почвам полупустынь и пустынь), происходит формирование более загрязненного поверхностного стока, который способствует образованию минерализованных поверхностных вод со сложным химическим составом.

Проводимые в стране преобразования земельных отношений, не привели к улучшению использования земель, снижению неблагоприятных антропогенных

воздействий на почвенный покров, способствующих развитию эрозионных процессов деградации почв сельскохозяйственных угодий. Характер и интенсивность деградационных процессов определяется действием природных и антропогенных факторов. Они имеют свою региональную специфику: от дегумификации, агрогенного истощения и эрозии почв в центральной части России до опустынивания на юге. При этом комплексная количественная оценка поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком и оценка компенсационных мероприятий, способствующих снижению поверхностного стока и сохранению плодородия различных типов почв на агроландшафтах, ранее никем не проводилась.

3.4 Научно-методическое обеспечение нормируемых качественных и количественных показателей поверхностного стока и их воздействие на окружающую среду

Поверхностные водные объекты сильно подвержены загрязнению поверхностным стоком, количественный и качественный состав которого изменяется по сезонам года [173].

Главная особенность поверхностных водных объектов заключается в том, что они представляют собой, прежде всего водные экосистемы. Загрязнение и деградация водных экосистем влияет на состояние окружающей среды, здоровье и благополучие человека. В настоящее время для оценки качества водных объектов используются ПДК веществ в воде, которые являются основными показателями в системе управления качества вод. Роль и значение ПДК будут возрастать в связи с необходимостью учитывать качество воды, степень ее загрязнения опасными веществами при формировании законодательных, нормативно-правовых и экономических механизмов регулирования водопользования.

Для оценки качества воды поверхностных водных объектов используются классификации качества воды по показателям солености и концентрации различных ионов, исходя из экологии водных организмов, классификации качества воды по трофо-сапробным показателям [174].

В классификации выделено три класса и шесть подклассов по 12 трофо-сапробным показателям. В классификации качества воды по гидробиологическим и микробиологическим показателям, рекомендуемой *ГОСТ 17.1.3.07-82. «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков»* [174], даны шесть классов качества воды по степени загрязненности. В соответствии с *СанПиН 4630-88 «Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения»* [175], гигиеническая классификация водных объектов содержит характеристику четырех классов воды по степени загрязнения [146].

Для водных экосистем характерно сложное взаимодействие двух частей – абиотической (вода и донные отложения с их физическими и химическими свойствами) и биотической (бактерии, растения и животные, обитающие на водной поверхности, в водной толще, на дне и в верхней части донных отложений) [146].

Поверхностный сток в большинстве случаев относится к слабоуправляемым источникам поступления загрязняющих веществ, но он имеет определяющее влияние на формирование качества воды.

Для нормирования стока необходимо установить нормативы, которые должны соответствовать ПДК загрязняющих веществ в соответствии с требованиями к качеству вод водного объекта, принимающего поверхностный сток.

Для субъектов сельскохозяйственной деятельности при загрязнении специфическими веществами, поступающими с органическими и минеральными удобре-

ниями, их определение дополнительно включается в список (например, тяжелые металлы).

Особое внимание следует уделять определению биогенных веществ, которые могут выступать агентами эвтрофирования, главным образом, в виде нитратов и фосфатов.

Согласно «*Правилам охраны поверхностных вод (типовые положения)*», контрольные створы должны назначаться таким образом, чтобы обеспечить отслеживание соблюдения нормативов качества воды.

В качестве исходных данных о качестве воды (фоновые концентрации загрязняющих веществ) могут быть использованы природные фоновые значения незагрязненных участков водных объектов при наиболее неблагоприятных естественных условиях формирования состава и свойств воды.

Анализ нормативно-методической базы определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам, показывает, что рекомендуемые к использованию методические указания содержат необходимые положения для расчета вреда поверхностным водным объектам, наносимым загрязняющими веществами, поступающими с поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования [111, 176, 177].

Однако в большинстве случаев предлагается методика определения наносимого вреда и ущерба по укрупненным показателям, с учетом определения показателей качества и объемов стока и сбросов уже в водотоках. Определяются эти показатели в водных источниках выше и ниже изучаемого объекта, если это река, в местах точечных сбросов или в целом по водному объекту, если это небольшое озеро или пруд.

В то же время, учитывая, что основное количество вредных веществ поступает со стоком с сельскохозяйственных угодий и формируется на водосборах, где одновременно ведут хозяйственную деятельность множество землепользователей различных форм хозяйствования, от мелких фермерских хозяйств с площадью 30–50 га до крупных холдингов, имеющих в своем пользовании по 40–50 тыс. га сельхозугодий, весьма актуальной оказалась разработка методики, позволяющая определять и разграничить ответственность землепользователей по привнесу вредных веществ в поверхностные водные объекты и рассчитать ущерб, наносимый каждым хозяйствующим субъектом.

Научные исследования не должны закончиться разработкой Методики определения ущерба и компенсационных мер по снижению поверхностного стока и компенсации ущерба от поверхностного стока. Наша цель направлена на разработку автоматизированных моделей расчета ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком. В дальнейшем на основе этих моделей разработать автоматизированную программу расчета ущерба. Математическая модель позволит использовать автоматизированные методы расчета, которые дают возможность не только быстро производить расчеты ущерба, но и более точно, с учетом множества показателей и факторов.

Для разработки моделей необходимо иметь значительно большее количество качественных и количественных показателей в увязке с различными факторами и причинами воздействия на природные водные объекты, определяющие размеры ущерба. Создание модели базируется на разработке алгоритма и получении достоверных математических уравнений и зависимостей по большому количеству существенных показателей, которые позволят автоматизировать расчет ущерба и поднять методы расчета на новый более высокий уровень.

Комплексные исследования проводились исполнителями данной работы на стационарных и вновь созданных участках в различных агроклиматических регионах России (Юг России, Поволжье, Калмыкия, ЦЧО, Центральный округ), охватывающие различные гидрогеологические условия.

В связи с этим исследования были направлены на определение:

- закономерностей, количественных и качественных показателей поверхностного стока в различных регионах России;
- поверхностного стока в водные объекты на различных типах почвы от талых, дождевых и ирригационных вод;
- поверхностного стока в зависимости от степени освоенности территорий, уклона местности и вида растительности;
- агротехники, применяемой на сельскохозяйственных угодьях, где формируется сток;
- влияния аквалесомелиоративных мероприятий на сток;
- компенсационной роли аквалесомелиоративных мероприятий в снижении объемов и качества стока;
- влияния вида, доз и сроков внесения минеральных удобрений под различные культуры на качество поверхностных вод и вынос биогенов в водные объекты;
- влияния вида, доз, сроков и способов внесения органических удобрений под различные культуры на качество поверхностных вод и вынос биогенов в водные объекты.

Выполнение исследований позволило разработать Методику ущерба и модель и разграничить ответственность хозяйствующих субъектов за нанесенный ущерб поверхностным водным объектам. При выполнении исследований учитывались количественные и качественные показатели стока (биогенные вещества) согласно общепринятым методикам [178, 179].

4 ПРОГНОЗ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД

Решение проблемы защиты населения, объектов народного хозяйства и компонентов окружающей природной среды от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, уменьшение их социально-экономических и экологических последствий является важнейшей задачей современности, без решения которой невозможно устойчивое развитие страны и успешное выполнение национальных проектов. Эта проблема особенно актуальна для ряда регионов России, в частности для Волгоградской области и особенно для Волго-Ахтубинской поймы, экологическая ситуация которой полностью зависит от поверхностного стока во всем бассейне Волги и пропуска его через каскад водохранилищ.

В последние годы на Юге России отмечается рост наводнений с катастрофическими последствиями для населения и объектов экономики. Среднемноголетний ущерб от наводнений оценивается в 41,6 млрд рублей в год (в ценах 2001 года), в том числе в бассейнах рек: Волга – 9,4; Терек – 3,0; Дон – 2,6; Кубань – 2,1 млрд руб. [156]. Подтверждением служит наводнение на Северном Кавказе, наблюдавшееся в июне 2002 года, когда затопление населенных пунктов и народнохозяйственных объектов происходило в девяти субъектах ЮФО [180].

Заблаговременно принять меры по уменьшению возможного ущерба и наиболее эффективному использованию водных ресурсов призваны помочь долгосрочные и краткосрочные гидрологические прогнозы, точность и надежность которых зависит от достоверности и полноты данных государственной сети наблюдений. Речная сеть Северо-Кавказского управления Гидрометслужбы насчитывает 224 гидрологических поста, что недостаточно для обеспечения расчетов с необходимой точностью. Начиная с 1990 года, количество постов уменьшилось на 26 %. Из-за неисправности гидростворов и отсутствия необходимых приборов на ряде постов измерения имеют пониженную точность.

Создаваемые в регионах чрезвычайные противопаводковые комиссии часто не справляются с поставленной задачей. Отсутствие надежного прогноза поверхностного стока талых вод нередко приводит к катастрофическим последствиям: либо гидротехнические сооружения не справляются с пропуском паводковых вод, либо зимой сбрасывают большой объем воды из водохранилищ, подготавливая их к весеннему паводку, которой потом не хватает для многих отраслей народного хозяйства страны (энергетики, водного, сельского, рыбного, коммунального и др.). При этом выполняется много ненужной работы, требующей огромных материальных ресурсов и денежных средств.

Такие прогнозы и в связи с этим тяжелые последствия имели место в Центральных районах ЕТР в 1968, 1975, 1978, 1981, 1985, 1998, 1999 гг., а в Нижнем Поволжье в 1967, 1968, 1970, 1996, 1999 гг. В РФ ошибка прогноза поверхностного стока в бассейнах Волги и Дона очень высокая, в среднем она составляет 35 %, а бывает и 100 %.

В настоящее время в нашей стране нет надежной методики прогноза поверхностного стока талых вод, поэтому он так часто бывает ошибочным. Причем, как правило, даваемые прогнозы краткосрочные. В существующих методиках либо используется один фактор (например, снеготпасы), либо десятки и даже сотни факторов. Ни то, ни другое неприемлемо. Нами доказано, что по 2–3 ведущим факторам можно делать долгосрочный (2–3 месяца) высокоточный (80–100 %) прогноз.

Зарубежный опыт нам не подходит, так как в большинстве стран формируется преимущественно ливневый сток, а в странах, где есть сток талых вод (США,

Канада и др.), условия сильно отличаются от наших. С другой стороны, для бассейнов Волги и Дона нельзя переносить опыт прогноза стока, например, на бассейнах сибирских рек или рек европейской части РФ, впадающих в северные моря.

В литературе много данных по влиянию природных факторов на сток талых вод. Однако эти факторы рассматриваются в основном без учета совокупности их влияния. Все имеющиеся в литературе результаты исследований, обобщения и анализа связи стока талых вод с природными факторами, а также методы его прогнозирования не дают возможности однозначно определить роль тех или иных факторов в формировании стока, дать точный его прогноз и выявить пути воздействия на них с целью регулирования эрозионно-гидрологического процесса. Нужен новый методологический подход к анализу имеющегося материала и получению дополнительных данных.

4.1 Научное обоснование разработки методики прогнозирования поверхностного стока талых вод, создающих угрозу затопления

4.1.1 Проблема затопления сельскохозяйственных угодий и возникновения чрезвычайных ситуаций на Юге России

В России площадь паводкоопасных территорий составляет около 400 тыс. км², где расположены около 300 городов, десятки тысяч населенных пунктов, хозяйственные объекты, более 7 млн га сельскохозяйственных угодий. Ежегодно затоплению подвергается территория площадью более 50 тыс. км². К регионам, наиболее подверженным опасности затопления, относятся Волгоградская и Астраханская области, Краснодарский и Ставропольский края, Дагестан, Кабардино-Балкария и ряд других субъектов ЮФО, на территории которого протекают как равнинные, так и горные реки.

Годовой ход стока равнинных рек характеризуется обычно высоким весенним половодьем, на долю которого приходится до 70 % годового стока. Резкие повышения уровней воды на реках, отмечающиеся в период половодья и паводков, вызывают наводнения, при которых затапливаются как населенные пункты, так и территории сельскохозяйственного назначения, разрушаются постройки, гибнет скот.

Основные причины возникновения и повышения риска возникновения чрезвычайных ситуаций заключаются в изменении климата и проявлении аномальных погодных явлений (активное снеготаяние, ливневые осадки), интенсивном освоении и застройке водосборных и затапливаемых территорий, недостаточной обеспеченности объектов экономики и сельскохозяйственных угодий надежной инженерной защитой.

Негативные экологические последствия и значительный социально-экономический ущерб от затопления возрастают в свою очередь по причине недостаточной достоверности гидрометеорологических прогнозов из-за сокращения сети наблюдательных постов, слабой их оснащенности средствами автоматизации измерений и передачи информации, отсутствия надежных и достоверных методик составления прогноза поверхностного стока талых вод.

4.1.2 Анализ методов составления прогноза поверхностного стока талых вод

Прогнозирование эрозионно-гидрологических процессов (ЭГП) на водосборных бассейнах и управление ими должно осуществляться на основе знания закона

формирования поверхностного стока, оценки природных и антропогенных факторов и их взаимодействия. Имеются многочисленные данные о роли различных факторов в формировании стока [180–190]. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени отличаются и даже бывают противоположными.

Наиболее полно, глубоко и всесторонне проанализировали связь стока с природными и антропогенными факторами Г. П. Сурмач и Е. В. Полуэктов [191–193], но, к сожалению, только на качественном уровне. Г. П. Сурмач [191] установил связь показателей стока с гидрометеорологическими условиями осенне-зимне-весеннего периода для черноземно-степной и каштановой зон. Он выделил по погодным условиям 11 типов осени, зимы и весны и определил 21 их сочетание и соответствующие им показатели стока на качественном уровне (слабый, умеренный, сильный и т. д.). Позднее он сгруппировал их в пять групп погодных условий осени, зимы и весны и на основе их анализа разработал схему прогнозирования стока талых вод также на качественном уровне [192].

Сочетание погодных условий по группам следующее:

1 Снег ложится на иссушенную или умеренно влажную почву, сильные оттепели отсутствуют. В этих условиях сток с зяби (а в ряде случаев и с уплотненной пашни) отсутствует независимо от глубины промерзания почвы как при малой или нормальной, так и повышенной мощности снежного покрова.

2 Почва уходит в зиму во влажном состоянии, снежный покров устойчивый и сохраняется в течение всей зимы. В этих условиях на зяби формируется очень слабый и слабый сток. По мере увеличения мощности снежного покрова в рамках обычных снеготолщин сток повышается, а его коэффициент остается приблизительно на том же уровне. На уплотненной пашне, а в более северных районах на оподзоленных черноземах и серых лесных почвах и на зяблевой пахоте увеличение мощности снежного покрова в таких условиях сопровождается значительным увеличением объема стока и некоторым повышением его коэффициента.

3 Снег выпал на переувлажненную в предзимний период и замерзшую почву и сохраняется в течение всей зимы. Вследствие этого весной на зяби формируется умеренный и сильный сток, не говоря уже об уплотненной пашне и выгонах. По мере увеличения снеготолщин объем и коэффициент стока с зяби, и особенно с уплотненной пашни, повышается.

4 Почва уходит в зиму различно увлажненной, зимой бывают глубокие оттепели с дождями, вызывающие частичное или полное стаивание снега. В дальнейшем почва замерзает в переувлажненном состоянии и теряет способность впитывать талую воду. В этих условиях сток и коэффициент стока с увеличением снеготолщин повышаются. В результате формируются сильные паводки. В местах, где в течение всей зимы сохраняется снежный покров мощностью не менее 20–25 см (например, в приопушечной зоне лесополос), вся талая вода во время оттепелей просачивается в почву и исключается возможность образования поверхностной ледяной корки. Эти участки и в период завершающего весеннего снеготаяния могут поглощать талую воду, способствуя тем самым сокращению стока. В таких условиях слой и коэффициент стока имеют обратную связь с запасами снеговой воды.

5 Почва уходит в зиму при различном увлажнении, зимний период характеризуется неустойчивой погодой. Периоды умеренного похолодания сменяются оттепелями, осадки выпадают преимущественно в виде снега и дождя, почва слабо замерзает и вновь оттаивает, снежный покров неустойчивый. Весенний сток с зяби в такие годы отсутствует или бывает очень слабый, а с других сельскохозяйственных угодий – очень слабый и слабый до умеренного.

Е. В. Полуэктов [193], проведя подобный анализ для условий северо-приазовских черноземов Ростовской области, сгруппировал различные сочетания природных факторов стока в четыре группы и предложил метод прогноза поверхностного стока также на качественном уровне. Они близки к тем, которые выделил Г. П. Сурмач.

В формализованном виде для прогноза стока рек за период половодья Б. А. Аполов, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров [194] предложили следующее уравнение:

$$Y = S - P_0(1 - e^{-S/P_0}), \quad (19)$$

где Y – речной сток в период половодья, мм;

S – запасы воды в снеге и ледяной корке, мм;

P – параметр, характеризующий водопоглотительную способность бассейна перед началом снеготаяния и представляющий собой максимально возможные потери талых вод при таянии снежного покрова с большим, практически бесконечно большим, запасом воды, мм.

$$P_0 = 750 \cdot e^{-0,11W} \cdot e^{-0,051WL}, \quad (20)$$

где W – влажность мерзлой почвы в слое 0–100 см, мм.

L – глубина промерзания почвы, см (глубина промерзания ограничена 60 см, т. е. все большие величины приравнены к 60 см, или глубина промерзания почвы свыше 60 см оказывает такое же влияние, как и 60 см);

По этому уравнению речной сток зависит от снегозапасов (S) и водопоглотительной способности почв бассейна (P_0) перед началом снеготаяния. Последний параметр связан с глубиной промерзания и льдистостью почвенного слоя 0–100 см или влажностью ее в мерзлом состоянии. Во-первых, по мнению авторов, водопоглотительная способность почвы зависит от глубины ее промерзания, начиная с любой величины больше нуля. Это противоречит экспериментальным данным, свидетельствующим об отсутствии стока талых вод при глубине промерзания до 30–50 см при любом уровне снегозапасов и увлажнении почвы. Во-вторых, авторы рекомендуют определять влажность мерзлой почвы до глубины 100 см, что приводит к увеличению ошибки. Для прогноза стока достаточно выявить влажность до глубины 30–50 см. И, в-третьих, влажность почвы определяется перед началом зимы и делается поправка на увлажнение во время зимних оттепелей, что тоже приводит к ошибке. Лучше определять этот показатель непосредственно перед снеготаянием.

В. В. Демидовым [195, 196] на основании трехлетних исследований в Курской области установлена количественная связь стока (α) со снегозапасами (S), увлажнением почвы ($W_{и}$), глубиной ее промерзания (L), среднесуточной температурой воздуха в период стока (t) и продолжительностью (T). Она выражается следующим уравнением:

$$Y = \frac{3,2 \cdot 10^3 S \cdot L^{1,5} \cdot t^{0,25} \cdot W_{и}^{4,2}}{T^{0,6} \cdot W_{пв}^{4,2}}, \quad (21)$$

где Y – поверхностный сток, мм;

S – снегозапасы, мм;

L – глубина промерзания почвы, см;

t – среднесуточная температура воздуха в период стока, град.;

$W_{и}$ – исходная влажность почвы перед началом зимы, мм;

$W_{пв}$ – полная влагоемкость почвы, мм;

T – продолжительность снеготаяния, сут.

Из уравнения видно, что в наибольшей степени коэффициент стока талых вод зависит от увлажнения почвы и глубины его промерзания, слабее влияют температура воздуха и продолжительность снеготаяния.

Анализ уравнения связи показал, что в нем слишком преувеличена роль глубины промерзания почвы, температуры воздуха и продолжительности снеготаяния. Причем глубина промерзания влияет на сток в степени 1,5 в любом диапазоне промерзания. Это не соответствует экспериментальным данным. Слишком высокий показатель степени и при увлажнении почвы. Г. П. Сурмач, М. М. Ломакин, А. П. Шестакова [197] предложили рассчитывать коэффициенты поверхностного стока по уравнению:

$$L=(a \cdot x^h \cdot H - b \cdot x - c \cdot H + L) \cdot (1 + 0,0000055 \cdot P_{oc}^2), \quad (22)$$

где a, b, c, L, h – коэффициенты, которые в зависимости от типа почв принимают разные значения;

x – средняя влажность почвы в запирающем слое, %;

H – толщина запирающего мерзлого слоя, см;

P_{oc} – влагозапасы в снеге и ледяной корке, мм.

Из этого уравнения следует, что на коэффициент стока талых вод существенно влияют снегозапасы, средняя влажность мерзлого слоя почвы и его глубина. Однако, судя по уравнению, и при отсутствии снега возможен сток, что противоречит здравому смыслу. Неправильно и то, что чем больше глубина промерзания, тем больше сток. Определение влажности почвы во всем мерзлом слое (до 150–200 см), с одной стороны, нецелесообразно, так как на водопоглощение и сток влияет только верхний (до 30–50 см) слой почвы, а с другой, это может привести к большой ошибке при определении влажности почвы (степень варьирования влажности увеличивается с глубиной).

В. Е. Водогретский [198] предлагает оценивать изменение поверхностной составляющей речного стока по зависимости коэффициента склонового весеннего стока (α) с показателем, характеризующим степень увлажненности почвы в метровом слое и промерзаемости почвогрунтов в период, предшествующий стоку (U_t), а также с уклоном склона (J). Входящий в предложенное им уравнение связи $\alpha = f(U_t, J)$ этот показатель рассчитывают путем умножения суммарных влагозапасов на сумму отрицательных значений температуры воздуха за период от начала устойчивого ее перехода через 0°C до 1 января. Это уравнение не может правильно отражать зависимость поверхностного стока от природных факторов по следующим причинам. Во-первых, в нем не учтены снегозапасы, во-вторых, произведение влагозапасов на сумму отрицательных температур не свидетельствует об уровне водопроницаемости почв. Известно, что снег хорошо изолирует почву, и ее состояние часто не связано с температурой воздуха. В-третьих, поверхностный сток талых вод практически не зависит от уклона [183, 192, 199].

П. А. Шеппель для расчета весеннего поверхностного стока использовал следующие уравнения [200]:

$$W_{\Pi} = 14,7 \cdot \sqrt{h}; \quad (23)$$

$$W_{\Pi} = 0,94 \cdot h + 54, \quad (24)$$

где W_{Π} – суммарный приток паводковых вод к каскаду ГЭС, км³;

h – максимальные (средние) запасы воды в снежном покрове бассейна Волги, мм.

По этим уравнениям величина стока Волги зависит только от снегозапасов, т. е. чем больше снега, тем больше сток. Это совсем не соответствует закономерности

стям формирования стока. Бывает, что при небольших снегозапасах формируется относительно большой сток. Это мы рассмотрим ниже при анализе экспериментальных данных.

Дождевые паводки и весеннее половодье формируются в результате стекания дождевых и талых вод со склонов речных бассейнов, добегания их по ручейковой и русловой сети и суммирования элементарных объемов (расходов) воды, образовавшихся в различных частях бассейна от разных порций водоподачи, в процессе их добегания к замыкающему створу.

Естественно, что первые порции водоподачи на водосбор при выпадении дождей или снеготаянии расходуются на смачивание растительного и почвенного покрова, аккумуляцию в толще снега, инфильтрацию и заполнение отрицательных форм микрорельефа и не участвуют в стоке. И лишь по истечении некоторого времени, когда интенсивность общих потерь станет меньше интенсивности водопоступления, остаточная часть воды станет стекать со склонов и поступать в русловую сеть. В это время открытые склоны представлены пестрой мозаикой элементарных водосборов с густой сетью луж и мелких ручейков, подающих воду в тальвежную и русловую сеть.

Текущие расходы паводка могут быть представлены интегральными уравнениями, которые в исследованиях М. А. Великанова и Н. Е. Долгова получили название генетической формулы стока [201]:

$$Q_t = \int_0^t \frac{df}{dt} (X - P) dt \quad (25)$$

или

$$Q_t = \int_0^t \frac{df}{dt} h dt, \quad (26)$$

где Q_t – текущий расход паводка в t -й момент времени, км²;

t – время добегания воды к замыкающему створу, мин;

f – площадь одновременного стекания, которая является функцией текущих скоростей и времени добегания воды к замыкающему створу;

X – слой дождевых или талых вод за время t , мм;

P – суммарные потери за время t ;

$h = X - P$ – слой стока за время t , мм.

В развернутом виде при принятой расчетной единице времени формула (25) может быть записана в виде:

$$Q_t = h_1 \cdot f_1 \cdot \psi \cdot (v_1) + h_2 \cdot f_{t-1} \cdot \psi \cdot (v_2) + \dots + h_t \cdot f_t \cdot \psi \cdot (v_t), \quad (27)$$

Уравнения (26) и (27) в определенной мере отражают естественный нестационарный процесс формирования паводков, включая ход водопоступления и потерь, а также изменения скоростей стекания и добегания стока к створу.

Основоположники генетической теории паводков Н. Е. Долгов и М. А. Великанов считают, что эти уравнения представляют собой математические символы, решить которые без упрощений и схематизации весьма сложного природного явления невозможно, так как их переменные и взаимосвязанные параметры являются неопределенными функциями.

Если же принять постоянными в течение паводка и одинаковыми по водосбору скорости и учитывать все виды потерь дождевых и талых вод постоянным объемным коэффициентом стока или принимать в качестве водоотдачи ход паводочного стока с малых площадей, генетическая формула стока получает вид:

- в интегральном выражении:

$$Q_t = \int_0^{t=\tau} h_{t-\tau} f_{\tau} = \int_0^{t=\tau} h_{t-\tau} v b_{\tau} d\tau; \quad (28)$$

- в общем развернутом виде:

$$Q_t = h_1 \cdot f_t + h_2 \cdot f_{t-1} + \dots + h_t \cdot f_1, \quad (29)$$

где Q_t – расход в t -й интервал времени, м³/га;

t – время добегания, ч;

$f = v \cdot b \cdot d \cdot t$ – площадь одновременного стекания, м²;

b – ширина этой площади, м;

v – постоянная скорость, м/с;

f_t, f_{t-1}, \dots, f_1 – единичные площади, подающие сток к замыкающему створу

в течение одного интервала времени;

h_1, h_2, \dots, h_t – слои воды, поступающей с единичных площадок к замыкающему створу в течение каждого интервала времени, мм.

Генетические формулы вида (28) и (29) предусматривают постоянные за время паводка скорости, что отвечает установившемуся движению и является грубым допущением относительно естественного процесса формирования паводка. Но это допущение дает возможность легко установить единичные площади стекания и использовать генетическую формулу для построения приближенных гидрографов неизученных водосборов и обоснования самых распространенных формул максимального стока.

Следовательно, на основании анализа работ разных исследователей нельзя однозначно судить о роли тех или иных факторов формирования стока, дать точный его прогноз и определить пути воздействия на них с целью управления эрозионно-гидрологическими процессами.

4.2 Закономерности формирования весеннего поверхностного стока. Закон лимитирующих факторов стока

Во ВНИАЛМИ свыше 40 лет разрабатывают мероприятия по регулированию стока на основе изучения закономерностей его формирования. Дана оценка роли природных факторов в формировании поверхностного стока путем проведения экспериментальных исследований в разных природных зонах (лесостепь, степь, сухая степь) европейской части страны и анализ роли природных факторов в формировании поверхностного стока.

Анализ данных показал, что прямой связи стока с одними снегозапасами нет (таблица 20).

Таблица 20 – Показатели снегозапасов и поверхностного стока талых вод на зяби и уплотненной пашне в многоснежные годы (юг ЦРНЗ)

Год	Зябь		Уплотненная пашня (многолетние травы, озимые)	
	снегозапасы, мм	сток, мм	снегозапасы, мм	сток, мм
1	2	3	4	5
1959	146	108	135	106
1960	136	81	150	117
1963	116	61	115	71
1964	121	58	113	91

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5
1967	186	146	186	186
1970	192	83	221	94
1971	129	79	81	39
1979	128	37	135	45
1980	135	29	153	42
1987	149	27	160	40
1988	118	21	123	42
1994	139	40	142	50
1968	169	0	145	26
1976	137	0	160	3
1977	138	12	149	20
1981	162	0	132	15
1982	100	2	100	5
1983	97	2	91	27
1985	128	0	119	2
1985	114	0	118	4
1999	144	0	–	–

Эти данные показывают, что в многоснежные годы (снегозапасы свыше 100 мм) сток может отсутствовать полностью и быть очень большим: до 146 мм на зяби и до 186 мм на уплотненной пашне.

В малоснежные зимы сток также может не сформироваться, а может быть относительно большим (таблица 21).

Таблица 21 – Показатели снегозапасов и поверхностного стока талых вод на зяби и уплотненной пашне в малоснежные годы (юг ЦРНЗ)

Год	Зябь		Уплотненная пашня (многолетние травы, озимые)	
	снегозапасы, мм	сток, мм	снегозапасы, мм	сток, мм
1	2	3	4	5
1961	32	7	22	12
1962	22	13	23	21
1965	70	51	60	46
1969	66	24	80	51
1972	56	15	56	15
1973	62	29	53	31
1974	50	29	49	44
1984	41	12	67	18
1986	77	33	75	36
1990	44	23	49	25
1991	84	34	89	52
1993	42	17	45	14
1996	81	29	89	26
2003	96	26	152	71
1966	77	4	105	3
1975	86	0	89	0
1978	91	0	177	20

Продолжение таблицы 21

1	2	3	4	5
1983	97	2	91	27
1989	55	0	52	0
1992	88	0	85	0
1997	56	1	–	–
1998	48	0	–	–
2000	57	0	–	–
2001	81	0	–	–
2002	58	0	–	–

В результате исследований были выявлены важнейшие природные факторы, влияющие на сток. Это снегозапасы, глубина промерзания и увлажнение почвы. Причем все они влияют на сток во взаимодействии. Снегозапасы и характер снегоотложения влияют на промерзание почвы. Промерзание и увлажнение почвы также взаимосвязаны. Наибольшее влияние на сток оказывает характер промерзания почвы.

Связь стока с глубиной промерзания специфическая. Если почва талая (таблица 22) или промерзла на глубину не более 50 см, то сток не формируется или бывает незначительный.

Таблица 22 – Показатели стока с зяби и факторов, обуславливающих его формирование на юге ЦРНЗ

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания, см
		в почве (0–50 см)	в снеге	
Годы со стоком				
1964	52	151	211	60
1967	150	248	196	76
1969	22	175	52	182
1970	82	183	191	137
1971	52	165	154	100
1972	22	166	60	160
1973	31	190	70	97
1974	50	193	64	124
1979	41	174	137	68
1986	32	175	80	110
1987	33	152	153	69
1988	21	137	118	60
1990	21	190	44	68
1991	34	172	84	84
1993	17	170	42	83
1994	37	263	136	68
1996	29	164	81	80
2003	26	224	96	101

При промерзании почвы свыше 50 см (таблица 23) формируется сток разной величины, т. е. дальнейшее увеличение глубины промерзания не приводит к увеличению стока. Он зависит от снегозапасов и увлажнения почвы.

Таблица 23 – Показатели стока с зяби и факторов, обуславливающих его формирование на юге ЦРНЗ, в годы без стока

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания, см
		в почве (0–50 см)	в снеге	
Годы без стока				
1966	0	157	108	0
1968	0	123	150	29
1975	0	154	86	30
1977	2	132	114	30
1978	0	201	177	45
1980	0	153	158	30
1981	0	172	104	38
1982	0	184	101	50
1983	0	166	111	40
1985	0	173	120	10
1989	0	168	41	0
1992	0	169	88	17
1995	0	228	114	0
1997	1	247	56	45
1998	0	197	48	20
1999	0	178	144	0
2000	0	166	57	0
2001	0	215	81	0
2002	0	–	58	0

А. Т. Барабановым [20] были обобщены и проанализированы многолетние (10–35 лет) собственные и литературные данные, характеризующие связь слоя стока талых вод с зяби и уплотненной пашни с запасами воды в снеге и почве (в слое 0–50 см) перед снеготаянием, глубиной ее промерзания и продолжительностью снеготаяния на юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье. В результате были определены важнейшие природные факторы стока – снегозапасы, увлажнение и глубина промерзания почвы (интенсивность и продолжительность снеготаяния практически не влияют на величину стока талых вод) и открыт закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод. Было установлено также, что почва, как саморегулирующаяся система, способна поглотить и удержать определенное количество воды, максимальная величина которого в мерзлом состоянии может достигать полной влагоемкости верхнего слоя. Дефицит влаги (разница между полной влагоемкостью $W_{пв}$ и фактическими влагозапасами $W_{ф}$) обуславливает величину водопоглощения. Слой стока Y зависит от дефицита влаги в почве ΔW и снегозапасов перед снеготаянием W_c . В общем виде это уравнение можно записать так:

$$Y = W_c - (W_{пв} - W_{ф}) = W_c - \Delta W, \quad (30)$$

где Y – слой стока, мм;

W_c – снегозапасы перед снеготаянием, мм;

$W_{пв}$ – полная влагоемкость, мм;

$W_{ф}$ – фактические влагозапасы, мм;

ΔW – дефицита влаги в почве, мм.

Суть закона лимитирующих факторов состоит в том, что при некотором (лимитирующем) значении одного из них сток не формируется независимо от уровня других. Определены также максимальные значения факторов, при которых сток не образуется. Например, на юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье, если почва талая или промерзла до глубины не более 30–50 см, стока не будет независимо от величины ее увлажнения и количества снегозапасов. Дальнейшее увеличение глубины промерзания почвы выше лимитирующей практически не влияет на величину стока, то есть при любой глубине промерзания выше лимитирующей он формируется одинаково при одинаковых уровнях других факторов. Решающее воздействие на него в этом случае оказывают влагозапасы в почве и снеге. При увлажнении верхнего (0–50 см) слоя до 123 мм в ЦРНЗ и 70–95 мм в Нижнем Поволжье сток не формируется независимо от глубины промерзания почвы и снегозапасов (в данном случае лимитирующий фактор – увлажнение почвы). При снегозапасах, не превышающих объем микрорельефа поверхности, сток также не формируется независимо от уровня увлажнения и глубины промерзания почвы.

При уровнях факторов свыше лимитирующих сток всегда формируется. Величина его в этом случае зависит от сочетания уровней факторов. Роль этих факторов неодинакова в разных природных зонах при различном антропогенном воздействии. На юге ЦРНЗ и севере ЦЧО наиболее мощный фактор формирования стока, как на зяби, так и на уплотненной пашне – увлажнение почвы, а на уплотненной пашне – снегозапасы. Такая закономерность объясняется особенностями почвенно-климатических условий формирования стока. С помощью множественного корреляционно-регрессионного анализа автором дана количественная оценка влияния на поверхностный сток талых вод увлажнения почвы и снегозапасов. Аналитически она выражается уравнениями прямых типа $y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2$ [20].

Дополнительные исследования и обобщение литературных данных позволили увеличить ряды наблюдений на 10 лет. Это, в свою очередь, дало возможность усилить аргументацию в пользу обоснованности закона лимитирующих факторов стока и уточнить уравнения связи поверхностного стока со снегозапасами и увлажнением почвы при уровнях факторов выше лимитирующих.

На серых лесных почвах Орловской области были обобщены данные за 36 лет наблюдений на Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко. Для анализа использовались, приведенные в таблице 24, материалы Е. А. Гаршинова (1964, 1966), А. Т. Барабанова, М. М. Ломакина, Е. Я. Тубольцева (1967–1975), Н. Е. Петелько (1976–1979), В. П. Борца (1980), А. И. Петелько, В. П. Борца (1981–1984), А. Т. Барабанова, Ю. Н. Кobleва, А. И. Петелько, В. А. Ивановой (1985–2004).

Таблица 24 – Влияние природных факторов на сток с зяби на серых лесных почвах (Новосильская ЗАГЛОС)

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см
		в почве	в снеге	
1	2	3	4	5
1964	52	151	211	60
1966	0	157	108	0
1967	150	248	196	76
1968	0	123	150	29
1969	22	175	52	182
1970	82	183	191	137
1971	52	165	154	100

Продолжение таблицы 24

1	2	3	4	5
1972	22	166	60	160
1973	31	190	70	97
1974	50	193	64	124
1975	0	154	86	30
1976	0	123	113	130
1977	2	132	114	30
1978	0	201	177	45
1979	41	174	137	68
1980	0	153	158	30
1981	0	172	104	38
1982	0	184	101	50
1983	0	166	111	40
1984	3	129	51	120
1985	0	173	120	10
1986	32	175	80	110
1987	33	152	153	69
1988	21	137	118	60
1989	0	168	41	0
1990	21	190	44	68
1991	34	172	84	84
1992	0	169	88	17
1993	17	174	42	83
1994	37	156	136	68
1995	0	240	114	25
1996	29	164	81	80
1997	1	247	56	45
1998	0	197	48	20
1999	0	178	144	0
2000	0	166	57	20
2001	0	130	80	0
2002	0	176	58	0
2003	26	194	96	63
2004	0	204	86	5

Из таблицы 24 видно, что сток на зяби не формируется (15 лет из 36) или он бывает незначительным – до 2 мм (2 года), если почва талая или промерзла до 50 см, независимо от снегозапасов и увлажнения почвы. Снегозапасы в эти годы колебались от 41 до 177 мм, а запасы воды в почве (в слое 0–50 см) от 123 до 247 мм, т. е. отсутствие стока при слабом промерзании почвы происходит при варьировании остальных факторов в широком диапазоне. Стока не было при глубине промерзания почвы свыше 50 см только при низком (лимитирующем) уровне увлажнения – 123 мм, незначительная величина его (3 мм) отмечалась при уровне увлажнения почвы 129 мм. В 1968 году низкий уровень увлажнения почвы был при промерзании почвы 29 см, т. е. отсутствие стока при высоких снегозапасах связано с действием двух факторов. Низкий уровень увлажнения бывает в этих условиях очень редко (за 36 лет было всего три таких года). Запасы воды в снеге в эти годы составляли 51, 113 и 150 мм.

В годы с глубиной промерзания почвы свыше 50 см и запасами воды в ней свыше 151 мм при снегозапасах 42–211 мм величина стока колебалась в широком (от 17 до 150 мм) диапазоне в зависимости от снегозапасов и увлажнения почвы и независимо от глубины ее промерзания.

Множественный корреляционно-регрессионный анализ связи стока на зяби Y_3 с увлажнением почвы W_n и снегозапасами перед снеготаянием W_c при ее промерзании глубже 50 см позволил получить следующее уравнение:

$$Y_3 = -161 + 0,93 \cdot W_n + 0,37 \cdot W_c, \quad R = 0,88. \quad (31)$$

Анализ связи стока на уплотненной пашне с указанными природными факторами (таблица 25) показал, что при отсутствии промерзания почвы или при его глубине меньше 50 см сток не формируется совсем или бывает незначительным – до 2 мм. С отсутствием стока было 11 лет из 28, и 1 год формировался сток 2 мм. Запасы воды в почве в эти годы колебались от 124 до 233 мм, а снегозапасы – от 85 до 194 мм [20].

Таблица 25 – Влияние природных факторов на сток с уплотненной пашни (Новосильская ЗАГЛОС)

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см
		в почве	в снеге	
1966	0	189	101	0–10
1967	55	156	127	80
1968	0	124	161	0–8
1969	46	173	77	165
1970	96	171	203	75
1971	42	188	74	100
1972	15	157	37	100
1973	38	168	63	100
1974	44	216	49	104
1975	0	–	–	30
1976	0	–	–	20
1977	0	172	174	45
1978	0	163	194	50
1979	64	167	132	80
1980	0	152	153	35
1981	0	233	122	0
1982	0	–	–	0–10
1983	0	–	–	0–15
1985	2	166	113	10
1986	25	180	77	110
1987	42	118	149	69
1988	29	161	132	60
1991	52	214	90	84
1992	0	167	85	0–17
1993	14	151	45	83
1994	50	269	142	68
1995	0	165	121	25
1996	25	153	89	80

В годы с глубиной промерзания более 50 см и запасами воды в ней свыше 118 мм величина стока колебалась от 14 до 96 мм. Лимитирующий уровень увлажнения почвы на уплотненной пашне выявить не удалось.

Следует отметить, что в отличие от зяби сток на уплотненной пашне формировался и при низком уровне увлажнения (118 мм). За исследуемые годы лимитирующий уровень увлажнения почвы на серых лесных почвах Орловской области не был установлен. Не исключено, что при более низком увлажнении этот фактор окажет влияние на предотвращение стока.

Уравнение, описывающее связь стока с природными факторами на уплотненной пашне $Y_{\text{п}}$, имеет следующий вид:

$$Y_{\text{п}} = -11 + 0,12 \cdot W_{\text{п}} + 0,33 \cdot W_{\text{с}}, \quad R = 0,79. \quad (32)$$

Расчет стока по уравнениям (31) и (32) дает довольно близкую сходимость с экспериментальными данными (таблица 26). Отклонения расчетных от экспериментальных величин стока с зяби составляют 2–31 мм, но в основном они находятся в пределах 2–8 мм. На уплотненной пашне эти отклонения выше.

Таблица 26 – Экспериментальные и расчетные по уравнениям показатели стока (Новосильская ЗАГЛОС)

Год	Зябрь, мм			Уплотненная пашня, мм		
	экспериментальные	расчетные	отклонения	экспериментальные	расчетные	отклонения
1964	52	60	8	–	–	–
1967	150	119	–31	55	50	–5
1969	22	20	–2	46	36	–10
1970	82	74	–8	96	77	–19
1971	52	49	–3	42	36	–6
1972	22	17	–5	15	20	5
1973	31	36	5	38	30	–8
1974	50	37	–13	44	31	–13
1979	41	49	8	64	53	–11
1986	32	30	–2	25	36	11
1987	33	40	7	42	53	11
1988	21	18	–3	29	52	23
1990	21	27	6	–	–	–
1991	34	29	–5	52	45	–7
1993	17	16	–1	14	22	8
1994	37	44	7	50	68	18
1996	29	23	–6	–	–	–

При анализе роли природных факторов в формировании стока на типичных и обыкновенных черноземах, каштановых и светло-каштановых почвах Поволжья использованы материалы исследований А. Т. Барабанова, И. И. Гункина, Ф. А. Абдульманова, В. И. Антонова, Г. П. Сурмача, Г. С. Боброва, В. И. Панова, В. Е. Величкина, Е. И. Куницкого, В. П. Борца, Н. М. Пынзарю, Ю. В. Бондаренко.

Для обобщения материалов по стоку на типичных и обыкновенных черноземах Самарской области использованы данные Поволжской АГЛОС и Тимашевского опорного пункта. Ряды наблюдений увеличены по сравнению с предыдущим обобщением по зяби на 8 лет и уплотненной пашне на 10 лет. В основном это годы без стока, некоторые со стоком, но без показателей влажности. Следует отметить,

что по Самарской области ряды наблюдений несколько меньше, чем по Орловской, причем в большинстве случаев сток не формировался. В некоторые годы на отсутствие стока влияли два лимитирующих фактора – низкое увлажнение и небольшая глубина промерзания.

Показатели стока и обуславливающих его факторов с зяби на типичных и обыкновенных черноземах Самарской области приведены в таблице 27.

Анализ этих данных показал, что из 20 лет наблюдений сток не формировался 12 лет, в том числе 4 года (1956, 1958, 1959, 1965) из-за отсутствия или небольшой глубины промерзания почвы и 8 лет (1960–1963, 1965, 1967, 1969, 1972, 1975) из-за низкого уровня увлажнения почвы перед снеготаянием. В остальные годы при глубине промерзания свыше 35 см формировался сток от 5 до 78 мм в зависимости от сочетания различных уровней увлажнения почвы и снегозапасов [20].

Таблица 27 – Влияние природных факторов на сток с зяби на типичном и обыкновенном черноземах (Самарская область)

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, мм
		в почве	в снеге	
1956	0	Нет данных	243	0
1957	78	Очень влажно	140	> 100
1958	0	Сухая	124	25
1959	0	Сухая	65	15
1960	0	Слабовлажная	82	70
1961	0	124	62	60
1962	0	147	30	70
1963	0	< НВ	104	130*
1964	35	Большие	174	90
1965	0	< НВ	93	35
1966	42	ПВ	140	130*
1967	0	< НВ	51	150*
1968	22	111	70	150*
1969	0	101	49	150*
1970	8	120	73	150*
1971	5	116	48	150*
1972	0	96	124	150*
1973	6	113	54	80
1974	12	Нет данных	77	80–90
1975	0	107	73	87

* – Глубина промерзания почвы определялась по мерзлотомеру Данилина.

Регрессионный анализ данных за годы, когда сток сформировался, и по которым имеются количественные показатели уровней факторов, его обуславливающих, показал, что связь стока талых вод с зяби с увлажнением верхнего полуметрового слоя почвы и снегозапасами перед снеготаянием выражается уравнением:

$$Y_3 = -53 + 0,51 \cdot W_{\text{п}} + 0,04 \cdot W_{\text{с}}, \quad R = 0,48. \quad (33)$$

На уплотненной пашне сток не формировался только 4 года из 15-ти (таблица 28), в том числе один год (1956) из-за отсутствия промерзания, два года (1962, 1963) из-за низкого уровня увлажнения, и один год (1959) проявилось совместное влияние небольшой глубины промерзания и низкого уровня увлажнения. В остальные годы при глубине промерзания почвы свыше 70 см формировался сток 6–55 мм

в зависимости от сочетания уровней увлажнения почвы и снеготпасов. Связь стока с этими природными факторами выражается уравнением:

$$Y_{\text{п}} = -24 + 0,17 \cdot W_{\text{п}} + 0,40 \cdot W_{\text{с}}, \quad R = 0,92. \quad (34)$$

Таблица 28 – Влияние природных факторов на поверхностный сток с уплотненной пашни на типичном и обыкновенном черноземах (Самарская область)

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, мм
		в почве (0–50 см) (уплотненные)	в снеге	
1956	0	Нет данных	173	0
1957	155	Сильновлажная	179	> 100 см
1959	0	Сухая	124	15
1962	0	Сухая	40	70
1963	0	Сухая	211	130*
1964	62	Сильновлажная	154	90
1965	38	Нет данных	135	70–72
1966	50	Сильновлажная	188	140*
1967	3	Слабоувлажненная	108	150*
1968	38	211	62	150*
1969	39	199	94	140*
1969	6	95	74	150*
1970	86	Влажная	117	150*
1971	44	116	74	150*
1973	55	170	112	80*

* – Глубина промерзания почвы определялась по мерзлотомеру Данилина.

К сожалению, данных для оценки влияния природных факторов на сток при глубине промерзания свыше 50 см на черноземах Самарской области мало. Требуются дополнительные исследования и обобщение материалов. Тем не менее расчет стока по уравнениям (33) и (34) дает относительно близкую сходимость с экспериментальными данными (таблица 29).

Таблица 29 – Экспериментальные и расчетные уравнения величины стока на типичном и обыкновенном черноземах (Самарская область)

Год	Зябь			Год	Уплотненная пашня		
	экспериментальная	расчетная	отклонение		экспериментальная	расчетная	отклонение
1968	22	20	–2	1968	38	37	–1
1970	8	9	1	1968	39	48	9
1971	5	2	–3	1969	6	22	16
1973	6	10	4	1973	55	50	–4

Показатели стока с зяби и обуславливающих его факторов на каштановых почвах Волгоградской области приведены в таблице 30. Из 24 лет наблюдений 11 лет сток на зяби не формировался. Причем 8 лет (1963, 1965, 1967, 1968, 1987, 1991–1993) его не было из-за небольшой глубины промерзания почвы или его отсутствия и 3 года – из-за низкой влажности почвы [20].

Таблица 30 – Влияние природных факторов на сток с зяби на каштановых почвах Волгоградской области

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, мм
		в почве (0–50 см) (состояние)	в снеге	
1960	1	Сухая	87	–
1961	3	Влажная	46	–
1962	2	Сухая	37	70
1963	0	Влажная	89	25
1964	1	Слабовлажная	61	65
1965	0	Влажная	40	0
1967	0	61	108	0
1968	0	47	124	5
1969	17	74	52	150
1971	31	101	73	110
1971	30	100	53	110
1972	0	77	14	150
1973	0	50	44	83
1982	5	87	55	–
1983	15	83	40	–
1984	0	66	17	–
1985	20	71	66	–
1986	36	110	71	–
1987	0	70	141	33
1988	21	88	47	56
1989	4	89	47	65
1990	19	92	40	57
1991	0	–	50	0
1992	0	85	42	0
1993	0	98	22	0

Связь стока с зяби с влагозапасами в почве и снеге при глубине промерзания свыше 50 см выражается уравнением:

$$Y_3 = -27 + 0,38 \cdot W_{\text{п}} + 0,29 \cdot W_{\text{с}}, \quad R = 0,96. \quad (35)$$

На уплотненной пашне три года (1967, 1968, 1987) почва была талая, и сток не сформировался (таблица 31). В 1972 г. сток отсутствовал из-за низкой влажности. В годы с глубиной промерзания почвы больше 56 см формировался сток 23–87 мм. Связь стока с природными факторами выражается уравнением:

$$Y_{\text{п}} = -4 + 0,19 \cdot W_{\text{п}} + 1,14 \cdot W_{\text{с}}, \quad R = 0,92. \quad (36)$$

Расчет стока по уравнениям (35) и (36) отличается высокой точностью (таблица 32).

На светло-каштановых почвах Волгоградской области из 35 лет наблюдений сток с зяби практически отсутствовал 27 лет (таблица 33), в том числе из-за небольшой глубины промерзания 20 лет, из-за низкой влажности почвы 3 года, из-за совместного влияния небольшой глубины промерзания и влажности почвы 1 год и небольших снеготпасов и влажности почвы 3 года. В остальные 8 лет формировался сток от 4 до 31 мм в зависимости от сочетания уровней запасов воды в почве и снеге [20].

Таблица 31 – Влияние природных факторов на сток с уплотненной пашни на каштановых почвах Волгоградской области

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, мм
		в почве (0–50 см) (состояние)	в снеге	
1960	47	Сухая	80	–
1961	23	Влажная	50	–
1962	26	Сухая	46	70
1963	87	Влажная	107	70
1964	23	Влажная	58	70
1967	0	49	99	0
1968	0	46	111	5
1969	31	67	48	> 150
1971	45	128	61	83
1972	0	85	21	150
1988	31	171	65	56
1989	15	102	50	64
1990	31	95	40	57

Таблица 32 – Экспериментальные и расчетные по уравнениям связи величины стока с природными факторами на каштановых почвах Волгоградской области

Год	Зябь			Год	Уплотненная пашня		
	экспериментальные	расчетные	отклонение		экспериментальные	расчетные	отклонение
1969	17	17	0	1969	31	37	–
1971	31	31	0	1971	45	40	–
1971	30	27	–3	1972	0	3	–
1972	0	1	1	1988	31	36	–
1973	0	1	1	1989	15	–	–
1983	15	17	2	1990	31	22	–
1985	20	19	–1				
1988	21	20	–1				
1990	19	20	1				

Таблица 33 – Влияние природных факторов на поверхностный сток с зяби на светло-каштановых почвах Волгоградской области

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, мм
		в почве (0–50 см) (состояние)	в снеге	
1	2	3	4	5
1960	0	Около НВ	39	30
1961	0	> НВ < ПВ	21	10
1962	1	< НВ	74	65–80
1963	31	–	78	53
1964	1	52	32	70–75
1965	4	46	31	52–78
1966	0	57	7	0

Продолжение таблицы 33

1	2	3	4	5
1967	0	119	155	0
1968	16	122	60	100
1969	0	99	15	189
1969	0	81	7	189
1970	6	–	129	60–80
1971	0	71	75	100
1972	0	94	28	160
1973	0	66	45	0
1974	0	70	48	0
1981	0	68	0	20
1982	0	90	17	0
1983	0	87	0	30
1984	0	64	0	40
1985	0	205	39	20
1986	7	223	31	30
1987	0	73	99	10
1988	5	115	44	40
1989	3	213	25	40
1990	0	64	31	35
1991	0	105	22	42
1992	0	73	39	10
1993	0	76	17	50–80
1994	13	159	55	60
1995	0	120	70	0–10
1996	0	131	54	20
1997	0	111	90	0
1998	0	140	10	55
2000	0	78	21	0
2001	0	91	14	0
2002	0	107	10	0

Связь стока с увлажнением почвы и со снегозапасами в эти годы выражается уравнением:

$$Y_3 = -11 + 0,23 \cdot W_{\text{п}} + 0,37 \cdot W_{\text{с}}, \quad R = 0,94. \quad (37)$$

На уплотненной пашне (таблица 34) 11 лет из 28 сток не формировался, в том числе из-за отсутствия или небольшой глубины промерзания (до 30 см) 10 лет из-за низкого увлажнения почвы и 1 год (1972) из-за совместного влияния влажности почвы и снегозапасов. Следует обратить внимание на то, что здесь лимитирующий уровень глубины промерзания, при котором сток формируется, составляет 30 см.

Анализ данных за годы с глубиной промерзания почвы свыше 30 см показал, что связь стока с запасами воды в почве и снеге выражается уравнением:

$$Y_{\text{п}} = -20 + 0,29 \cdot W_{\text{п}} + 0,13 \cdot W_{\text{с}}, \quad R = 0,79. \quad (38)$$

Расчет стока по уравнениям (37) и (38) дает довольно близкую сходимость с экспериментальными данными (таблица 35) особенно по зяби, где отклонения расчетных от экспериментальных данных не превышают 3 мм [20].

Таблица 34 – Влияние природных факторов на поверхностный сток с уплотненной пашни на светло-каштановых почвах (Волгоградская область)

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, мм
		в почве (0–50 см)	в снеге	
1960	199	Около НВ	35	35
1961	0	> НВ < ПВ	18	20
1962	23	< НВ	83	65–80
1963	54	–	86	53
1964	23	Влажная	54	70–75
1965	26	Сильновлажная	39	52–78
1967	0	98	189	0–15
1968	24	110	148	100
1968	35	124	151	100
1969	3	72	19	150
1970	28	> НВ < ПВ	128	60–80
1971	33	120	85	115
1972	0	83	23	160
1973	0	74	90	0
1985	0	–	39	20
1986	7	–	32	30
1987	0	87	96	20
1988	21	116	27	40
1989	24	188	62	40
1990	5	104	47	40
1991	4	89	17	61
1992	0	104	41	20
1993	0	73	14	80
1994	58	159	64	70
1995	0	91	75	0–10
1996	0	86	59	20
1999	10	115	25	55
2000	0	75	24	0
2003	11	88	42	35
2002	12	105	26	60

Таблица 35 – Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям величины стока (ОПХ ВНИАЛМИ, г. Волгоград)

Год	Зябрь			Год	Уплотненная пашня		
	экспериментальные	расчетные	отклонение		экспериментальные	расчетные	отклонение
1	2	3	4	5	6	7	8
1964	1	2	1	1968	24	30	6
1965	4	2	–2	1968	35	35	0
1968	16	14	–2	1969	3	3	0
1986	7	6	–1	1971	33	25	–8
1988	5	8	3	1988	21	17	–4

Продолжение таблицы 35

1	2	3	4	5	6	7	8
1989	3	3	0	1989	24	42	18
1994	13	13	0	1991	4	8	4
1999	–	–	–	1993	1	3	2
				1994	58	34	–24
				1999	10	16	6

4.3 Модели формирования стока, прогноз и его практическое значение

Приведенный анализ позволил из всего многообразия факторов, обуславливающих сток талых вод в лесостепной, степной и полупустынной зонах, выявить главные (снегозапасы, увлажнение и глубина промерзания почвы) и открыть закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод. Сток формируется при обязательном сочетании их, однако при некотором уровне (ниже лимитирующего) увлажнения, глубины промерзания почвы и снегозапасов (каждого фактора в отдельности) сток не формируется независимо от уровня других факторов. При уровнях факторов выше лимитирующих связь стока талых вод с природными и антропогенными факторами сложная, она выражается уравнениями типа $y=a+b \cdot x_1+c \cdot x_2$.

На основе математического анализа результатов исследований разработаны модели формирования стока на разных типах почв (серые лесные, черноземы и каштановые), видах угодий (луг, пашня, залежь) и пашни (зябрь, озимые, многолетние травы и др.) (таблица 36) [20].

По этим материалам дана методика расчета стока при разных уровнях важнейших лимитирующих его природных факторов с учетом типов почв, видов угодий и пашни.

Было рассмотрено и оценено влияние хозяйственной деятельности на гидрологические процессы, дана количественная оценка роли антропогенных факторов стока (противоэрозионных мероприятий, обработки почвы, севооборотов, посадки защитных лесных насаждений, создания гидротехнических сооружений, лугомелиорации и др.) на природные факторы и их совместное влияние на формирование стока и разработаны технологии по управлению процессами формирования поверхностного стока с помощью комплекса организационно-хозяйственных, лесомелиоративных, агротехнических, луго- и гидротехнических мероприятий.

На основе закона лимитирующих факторов поверхностного стока разработан метод долгосрочного (1–2 месяца) и высокоточного (80–100 %) прогноза поверхностного стока.

Если почва талая или промерзла до 30–50 см, то сток не сформируется (точность 100 %). Если уровни природных факторов выше лимитирующих, то можно рассчитывать (прогнозировать) величину стока талых вод с сельскохозяйственной территории, используя выявленные нами закономерности и связи с точностью 80–90 % по уравнению:

$$Y = \left(\sum_{i=1}^n y_i \cdot S_i / \sum_{i=1}^n S_i \right) - Y_{эл} - Y_{за} - Y_{эг}, \quad (39)$$

где Y – сток с водосбора, мм;

Y_i – сток с i -того агрофона, мм (рассчитывается по уравнениям и таблице 36);

S_i – площадь i -го агрофона, га;

$Y_{эл}$, $Y_{за}$, $Y_{эг}$ – стокорегулирующий эффект от применения лесомелиоративных, агротехнических и гидротехнических приемов, мм.

Таблица 36 – Математические модели связи слоя стока талых вод на зяби и уплотненной пашне с запасами воды в слое почвы 0–50 см и снегозапасами перед снеготаянием

В мм

Область, почва	Уравнение связи с природными факторами		Множественный коэффициент корреляции		Ошибка уравнения	
	зябрь	уплотненная пашня	зябрь	уплотненная пашня	зябрь	уплотненная пашня
Орловская, серая лесная	$Y_3 = -165 + 0,95W_n + 0,38W_c$	$Y_n = -71 + 0,44W_n + 0,41W_c$	0,97	0,86	8,2	14,0
Курская, серая лесная типичный чернозем	$Y_3 = -57 + 0,34W_n + 0,26W_c$ $Y_3 = -50 + 0,25W_n + 0,25W_c$	Нет данных $Y_n = -116 + 0,71W_n + 0,41W_c$	0,61 0,92	– 0,74	26,8 4,5	– 16,0
Воронежская, обыкновенный чернозем	$Y_3 = -40 + 0,19W_n + 0,38W_c$	$Y_n = -12 + 0,06W_n + 0,69W_c$	0,54	0,91	21,5	6,8
Самарская, обыкновенный чернозем	$Y_3 = -53 + 0,51W_n + 0,04W_c$	$Y_n = -24 + 0,17W_n + 0,40W_c$	0,48	0,92	8,4	7,0
Волгоградская, каштановая светло-каштановая	$Y_3 = -27 + 0,38W_n + 0,29W_c$ $Y_3 = -9 + 0,1W_n + 0,09W_c$	$Y_n = -4 + 0,19W_n + 1,14W_c$ $Y_n = -12 + 0,17W_n + 0,16W_c$	0,96 0,64	0,92 0,84	7,1 5,6	9,2 8,7

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ВОД И НАНОСОВ

5.1 Цель и задачи полевых исследований

Целью полевых исследований является получение дополнительных данных влияния гидрологического, географического, физического, агрохимического и других показателей состояния различных типов почв на агроландшафтах на величину и качество вод поверхностного стока при современном уровне и планируемом увеличении использования органических и минеральных удобрений.

Решались следующие основные задачи:

- определить влияние на показатели поверхностного стока (жидкой и твердой фаз стока наносов) талых вод с рыхлой и уплотненной пашни в зависимости от уклона, водно-физических свойств почвы, типа почвы, способов обработки почвы и выращиваемых культур;

- определить влияние на показатели поверхностного стока (жидкой и твердой фаз стока) ливневых вод с рыхлой и уплотненной пашни в зависимости от типа почвы, уклона поверхности, водно-физических свойств почвы, выращиваемых культур;

- определить влияние способов обработки почвы и пожнивных остатков (агротехнических приемов) на величину поверхностного стока;

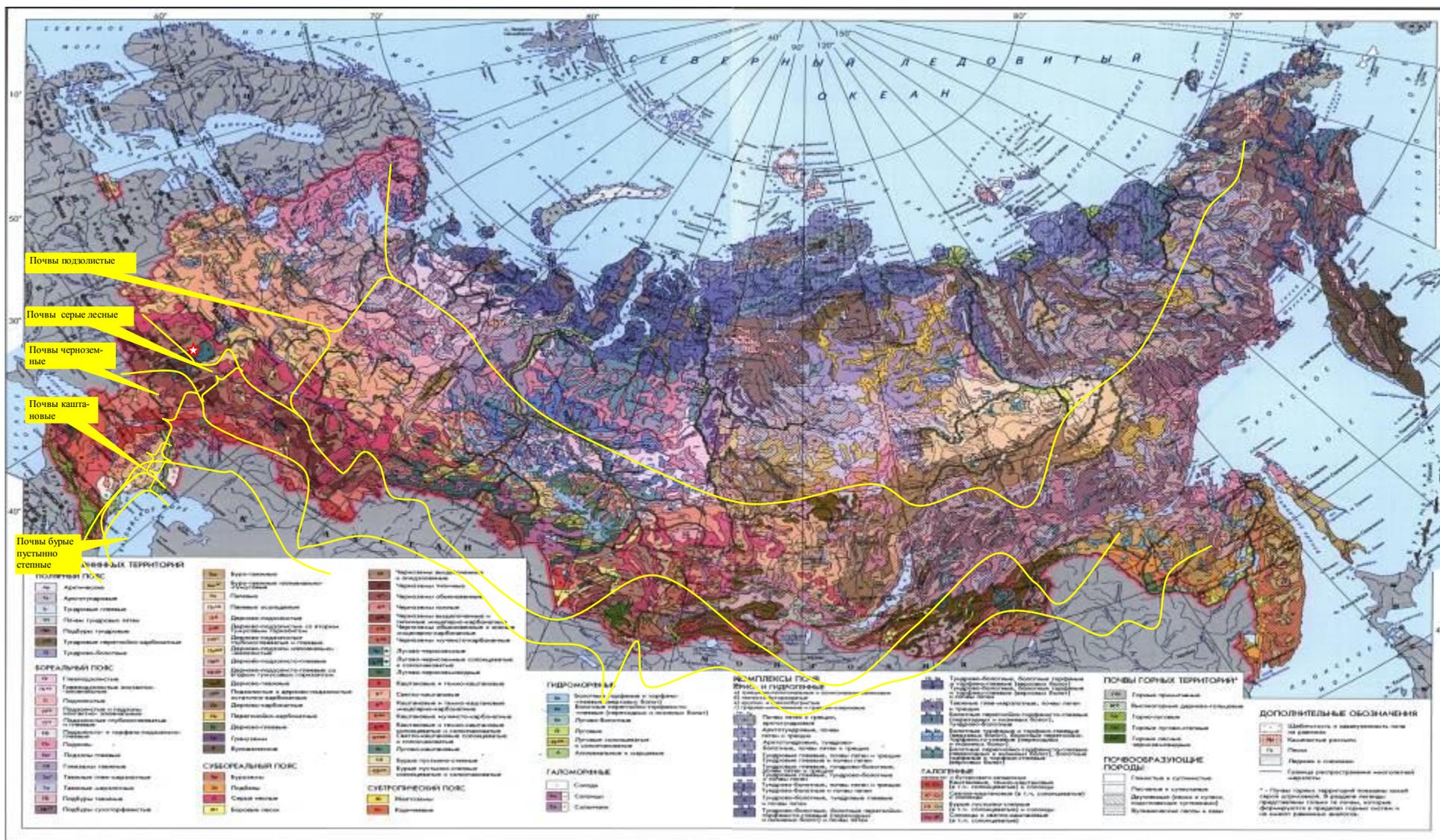
- влияние величины проективного покрытия поверхности почвы культурными растениями на поверхностный сток (жидкой и твердой фаз стока) на различных типах почвы;

- определить вынос биогенных веществ с поверхностным стоком талых и дождевых вод в зависимости от наличия биогенных веществ в пахотном слое почвы, установить коэффициенты выноса для расчета концентрации биогенных веществ в жидкой и твердой фазах поверхностного стока;

- определить влияние почвоохранных агротехнических, лесомелиоративных и гидротехнических мероприятий на снижение поверхностного стока на агроландшафтах и установить значения компенсационных коэффициентов снижения поверхностного стока в зависимости от применяемых природоохранных мероприятий.

5.2 Место проведения полевых исследований

Полевые исследования проводились на шести типах почв, охватывающих всю зону сельскохозяйственной деятельности в России. Почвенная карта России [202] и наглядное распределение поясов (зон) по типам почв, нанесенным исполнителями на эту карту, представлено на рисунке 9. На первом этапе авторами были отобраны образцы почв для оценки их исходного состояния по регионам: Астраханская область (серо-бурые и светло-каштановые почвы), Волгоградская область (темно-каштановые почвы), Ростовская область (черноземы южные и обыкновенные), Липецкая область (черноземы выщелоченные), Московская область (дерново-подзолистые почвы). Анализ отобранных почвенных образцов показал, что они не отражают полную картину физического и агрохимического состава почв России, поэтому исследования были расширены с целью выявления репрезентативных ключевых участков, характеризующих состояние различных типов почв.



Масштаб 1:15 000 000

Рисунок 9 – Карта-схема типов почв России

Дополнительные исследования показали, что наиболее полные данные о поверхностном стоке можно получить при проведении полевых исследований, охватывающих основные зоны сельскохозяйственной деятельности в России. Исследования проводились на шести типах почвы, на семи стационарных участках:

- черноземы обыкновенные (п. Степной, Ростовская область);
- черноземы южные (ст. Тацинская, Ростовская область);
- светло-каштановые (п. Дубовка, Волгоградская область);
- бурые полупустынные (п. Джангир, Республика Калмыкия);
- дерново-подзолистые (п. Чуркино, Нижегородская область);
- темно-серые лесные (п. Кижеватово, Пензенская область);
- черноземы обыкновенные (АОЗТ «Подлужное», Изобильненский район, Ставропольский край).

На опытных участках были выбраны участки на уплотненной и рыхлой зяби с различными культурами и уклонами поверхности, внесены минеральные удобрения в дозах, соответствующих от очень низкой до очень высокой обеспеченности почв питательными элементами, заделаны на глубину пахотного слоя (0–0,25 м), обследованы агроландшафты на степень эродированности, степень расчлененности местности оврагами, наличие почвоохраняющих мероприятий и их эффективность.

В почвах определяли нитраты, азот легкогидролизуемый, подвижный фосфор и калий. В жидкой фазе поверхностного стока талых вод и дождя определяли растворенные NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , P_2O_5 и K_2O в четырехкратной повторности. Площадь стоковой площадки для изучения коэффициента выноса биогенных веществ с дождевыми водами 2×1 м и 1×1 м. Интенсивность и продолжительность дождя имитировались искусственным дождеванием с расчетом на 10%-ю годовую обеспеченность. Установки для дождевания разработаны и прошли лабораторные испытания в ФГБНУ «РосНИИПМ». Наблюдения и учеты проводились по общепринятым методикам [115, 152, 203–205]. Методики проведения полевых исследований и анализ образцов почвы и воды общепринятые [115, 152, 203–205].

Фотографии по вопросам изучения поверхностного стока на различных типах почвы на семи ключевых участках приведены на рисунках 10–14.



Рисунок 10 – Водоприемный лоток стационарной стоковой площадки, п. Рассвет. Учеты объемов стока ведутся 39 лет



**Рисунок 11 – Измерение интенсивности осадков
дождемерными сосудами конструкции РосНИИПМ**



**Рисунок 12 – Ключевой участок по изучению поверхностного
стока с уплотненной пашни**



**Рисунок 13 – Водоприемник стационарной стоковой площадки
для изучения влияния агролесомелиоративных мероприятий
на сток талых и дождевых вод**



Рисунок 14 – Отрытый почвенный шурф для изучения почвенных горизонтов

5.3 Поверхностный сток талых вод с рыхлой и уплотненной пашни в зависимости от уклона, водно-физических свойств почвы, типа почвы, способов обработки почвы и выращиваемых культур

5.3.1 Результаты исследований жидкого стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни

Полевые исследования проводились с целью изучения следующих вопросов:
- отработка положений методики расчета годового количества биогенных элементов, поступающих в реку с водосбора, с земель сельскохозяйственного назначения;

- выявления количественного и качественного состава стока, массы смыва почв и биогенных веществ при внесении различных видов и доз минеральных и органических удобрений;

- установление математических зависимостей стока и его качества от различных факторов, влияющих на возникновение стока и объема стока, для разработки моделей стока и выноса растворенных веществ и смыва почвы.

Исследования по вопросам изучения поверхностного стока проводились в ФГБНУ «РосНИИПМ» на протяжении более 46 лет. Результаты этих исследований дополнены научными данными ВНИИГиМ, ФГБНУ «Мелиоводинформ», ФГБНУ «ВНИИАЛМИ» под руководством А. Т. Барабанова [206], ФГБОУ ВПО МГУ факультета почвоведения и географического факультета, ФГБОУ ВПО «СтавГАУ» и др.

В ходе проведения исследований сделаны новые и апробированы существующие стоковые площадки для определения стока талых и ливневых вод размером 270×30 м. Для изучения дождевого стока вод, растворенных веществ и смыва поч-

вы изготовлено три различные установки для имитации ливней различной интенсивности и продолжительности. Размеры этих площадок составляли 1 м² (размером 1 × 1 м), 4 и 6 м².

Для проведения полевых исследований по выявлению величины и состава поверхностного стока при внесении различных видов и доз удобрений были определены и согласованы стационарные участки в разных регионах России с различными уклонами и типами почвы.

Отобраны и проведены анализы образцов почвы на участках, где проводятся полевые исследования для характеристики исходного состояния. Опыты проводились на шести типах почвы, на семи стационарных участках.

Образцы воды и почвы, отобранные при изучении стока талых вод, анализировались в аттестованной эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ». Полевые исследования по изучению стока продолжаются с 1970 года по настоящее время. Полученные данные подвергались математическому и статистическому анализу с применением современных программных средств. Зависимости и уравнения при статистическом и математическом анализе полученных данных используются в разрабатываемом программном комплексе по автоматизированному определению ущерба от поверхностного стока.

Усредненные показатели слоя стока талых вод за период с 1970 по 2015 гг., полученные на черноземах обыкновенных Ростовской области, приведены в таблицах 37 и 38 [207].

Таблица 37 – Усредненные показатели слоя стока талых вод с рыхлой пашни на обыкновенных черноземах, п. Степной Ростовской области, 1970–2015 гг. (Е. В. Полуэктов)

Год	Рыхлая пашня (зябь)		
	Влагозапасы в снеге + осадки, мм	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока
1	2	3	4
1970	76,9	48,5	0,63
1971	14,3	1,0	0,07
1972	10,3	0	0
1973	17,0	0	0
1974	16,2	0	0
1975	26,3	0	0
1976	30,2	15,6	0,52
1977	52,6	26,0	0,49
1978	45,4	4,8	0,11
1979	11,4	0	0
1980	115,9	19,8	0,17
1981	31,6	0	0
1982	41,9	0	0
1983	11,7	0	0
1984	9,0	0	0
1985	152,8	81,0	0,52
1986	23,9	8,7	0,36
1987	320,0	0	0
1988	56,1	0	0
1989	24,2	0	0

Продолжение таблицы 37

1	2	3	4
1990	19,5	0	0
1991	21,4	0	0
1992	37,1	0	0
1993	17,5	0	0
1994	35,1	0	0
1995	41,2	9,3	0,23
1996	44,9	0	0
1997	31,4	0	0
1998	101,4	22,5	0,22
1999	32,4	0	0
2000	30,4	0	0
2001	31,3	0	0
2002	28,9	0	0
2003	83,8	63,2	0,75
2004	30,1	0	0
2005	32,2	0	0
2006	60,6	17,4	0,29
2007	15,4	0	0
2008	39,1	10,1	0,26
2009	19,8	0	0
2010	29,4	0	0
2011	21,1	0	0
2012	18,7	0	0
2013	31,5	0	0
2014	35,8	7,3	0,20
2015	19,4	0	0
Среднее за 46 лет	43,4	7,3	0,20

Таблица 38 – Усредненные показатели слоя стока талых вод с уплотненной пашни на обыкновенных черноземах, п. Степной Ростовской области, 1970–2015 гг.

Год	Уплотненная пашня		
	Влагозапасы в снеге + осадки, мм	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока
1	2	3	4
1970	79,8	48,5	0,61
1971	16,2	11,3	0,70
1972	13,1	0	0
1973	23,4	2,1	0,09
1974	19,7	0	0
1975	29,8	3,9	0,13
1976	33,0	21,1	0,66
1977	55,1	44,0	0,80
1978	46,5	14,0	0,30
1979	22,1	15,1	0,69

Продолжение таблицы 38

1	2	3	4
1980	111,2	52,5	0,44
1981	31,6	11,4	0,36
1982	52,4	11,9	0,23
1983	14,9	3,9	0,26
1984	12,1	0	0
1985	177,2	140,0	0,79
1986	28,9	25,5	0,88
1987	299,0	68,0	0,23
1988	69,3	33,1	0,48
1989	27,5	0	0
1990	21,3	0	0
1991	27,4	7,3	0,27
1992	41,5	5,0	0,12
1993	23,1	4,7	0,20
1994	41,7	14,9	0,36
1995	53,5	24,1	0,47
1996	67,2	11,2	0,17
1997	37,9	16,5	0,23
1998	127,7	33,6	0,38
1999	21,6	0	0
2000	48,9	0	0
2001	43,2	0	0
2002	32,5	0	0
2003	89,3	74,8	0,84
2004	34,6	0	0
2005	36,6	0	0
2006	63,7	24,6	0,39
2007	16,5	0	0
2008	38,9	20,6	0,53
2009	20,8	0	0
2010	32,4	0	0
2011	21,3	7,1	0,33
2012	21,3	0	0
2013	42,7	4,5	0,10
2014	47,9	18,2	0,38
2015	21,5	0	0
Среднее	48,6	16,3	0,30

Исследования, проведенные на черноземах обыкновенных (46 лет), показали, что сток талых вод с рыхлой пашни наблюдается один год из трех (вероятность 30 % лет), с уплотненной пашни – два раза в три года (вероятность 65 % лет), средние запасы воды в снеге составляют 43,4 мм на рыхлой пашне (вспашка) и – 48,6 мм на уплотненной пашне (посевы озимой пшеницы и многолетних трав). Средний сток составил соответственно 7,3 и 16,3 мм, т. е. на уплотненной пашне сток увеличивается в 2,2 раза по сравнению с рыхлой пашней, где влага в большей степени впитывается в почву.

Математический анализ влияния запасов воды в снеге на величину стока и

коэффициент стока позволил нам установить, что существует тесная корреляционная связь между этими показателями (рисунки 15 и 16) [207].

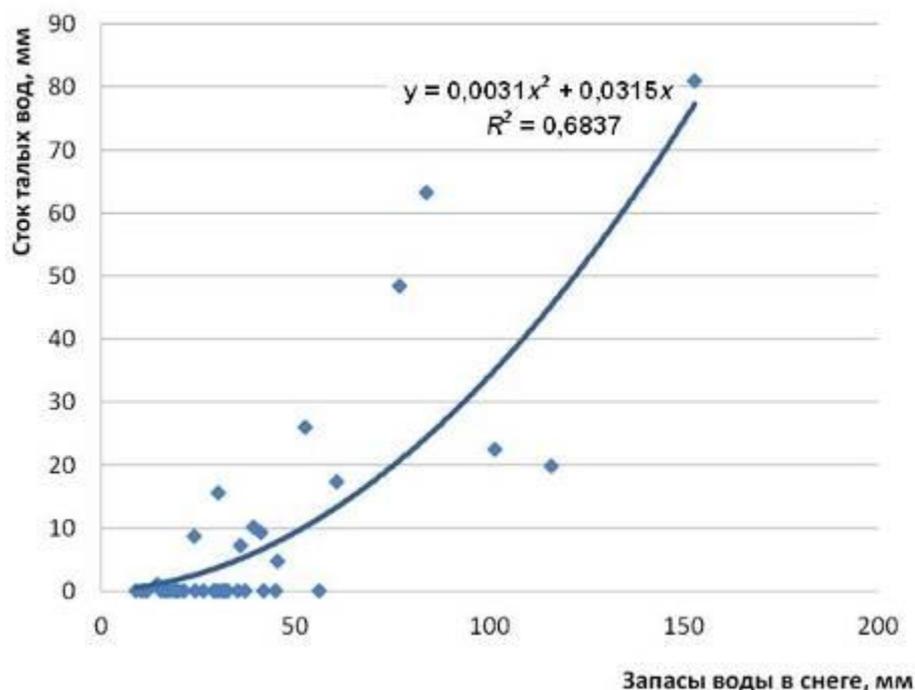


Рисунок 15 – Влияние запасов воды в снеге на величину стока талых вод по рыхлой пашне, п. Степной, 1970–2015 гг.

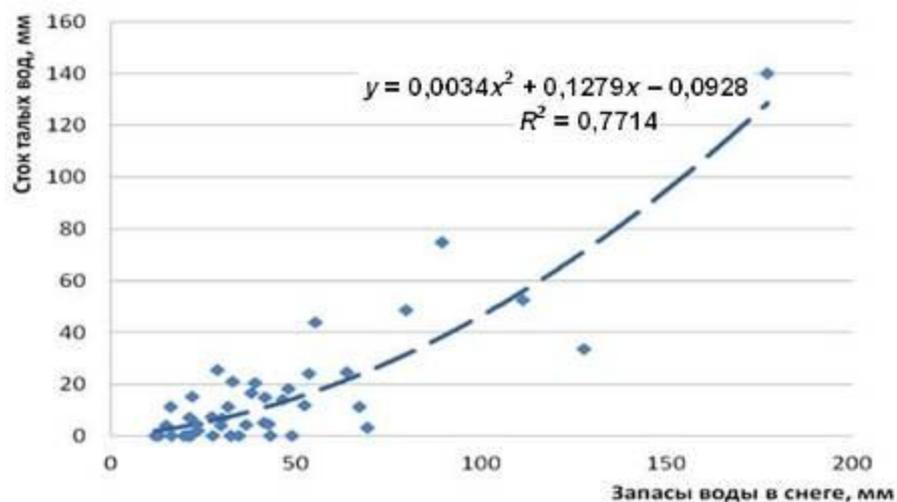


Рисунок 16 – Влияние запасов воды в снеге на величину стока талых вод по уплотненной пашне, п. Степной, 1970–2015 гг.

Уравнения имеют полиномиальную зависимость и описываются уравнениями:

- для рыхлой пашни (рисунок 15):

$$y = 0,0031x^2 + 0,0315x, \text{ при коэффициенте детерминации } R^2 = 0,68;$$

- для уплотненной пашни (рисунок 16):

$$y = 0,0034x^2 + 0,1279x - 0,0928, \text{ при коэффициенте детерминации } R^2 = 0,77.$$

Наблюдения за поверхностным стоком талых вод проводились и в АОЗТ «Подлужное» Ставропольского края в 2002–2015 годах, Д. А. Шевченко (ФГБОУ ВПО «СтавГАУ») (таблицы 39 и 40).

Таблица 39 – Усредненные показатели слоя стока талых вод с рыхлой пашни на обыкновенных черноземах, АОЗТ «Подлужное»

Год	Рыхлая пашня (зябрь)		
	Влагозапасы в снеге + осадки, мм	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока
2002	32,4	0	0
2003	28,5	0	0
2004	85,2	32,1	0,38
2005	29,7	4,2	0,14
2006	71,2	22,7	0,32
2007	17,8	0	0
2008	29,5	0	0
2009	17,4	0	0
2010	28,7		0
2011	49,6	26,2	0,53
2012	35,7	0	0
2013	51,3	21,4	0,42
2014	38,6	0	0
2015	30,6	0	0
Среднее	39,01	7,61	0,11

Таблица 40 – Усредненные показатели слоя стока талых вод с уплотненной пашни на обыкновенных черноземах, АОЗТ «Подлужное»

Год	Уплотненная пашня		
	Влагозапасы в снеге + осадки, мм	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока
2002	22,7	0	0
2003	64,5	33,2	0,5
2004	41,3	11,3	0,27
2005	28,4	0	0
2006	57,8	21,4	0,37
2007	12,2	0	0
2008	47,4	22,4	0,47
2009	8,8	0	0
2010	39,4	11,7	0,30
2011	17,7	0	0
2012	14,8	0	0
2013	51,5	22,3	0,43
2014	31,8	8,9	0,28
2015	29,4	0	0
Среднее	33,41	9,37	0,16

Данные таблицы 39 показывают, что средний сток с рыхлой пашни составляет 7,51 мм и наблюдается один раз в 5 лет. Наблюдается достоверная зависимость влагозапасов в снеге с показателями стока (рисунок 17).

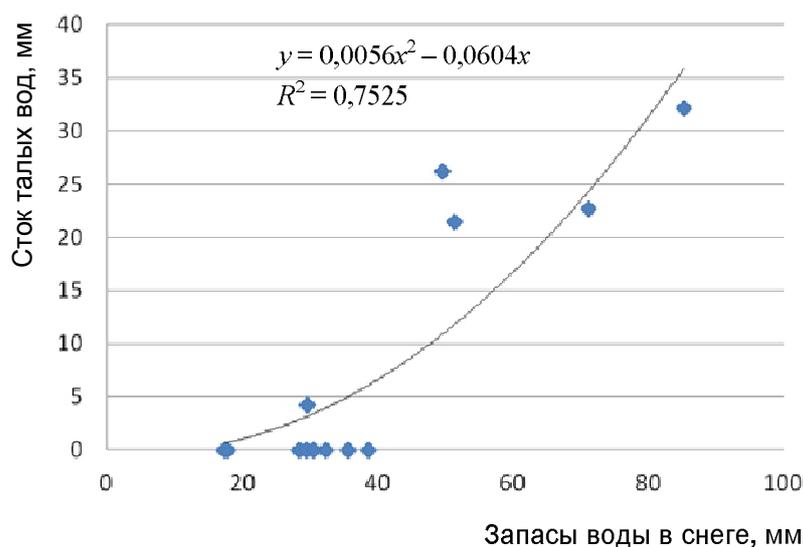


Рисунок 17 – Влияние запасов воды в снеге на величину стока талых вод по рыхлой пашне, АОЗТ «Подлужное», 2002–2015 гг.

На уплотненной пашне по сравнению с рыхлой наблюдается некоторое снижение влагозапасов в снеге с 34,22 до 33,41 мм и увеличение объема поверхностного стока талых вод с 7,51 до 9,37 мм за счет увеличения количества лет со стоком с 5 до 7 лет из четырнадцати лет наблюдений, т. е. с 31,3 % вероятности стока до 43,8 %. При этом коэффициент стока увеличился с 0,11 до 0,16. Наблюдается достоверная зависимость влагозапасов в снеге с показателями стока (рисунок 18).

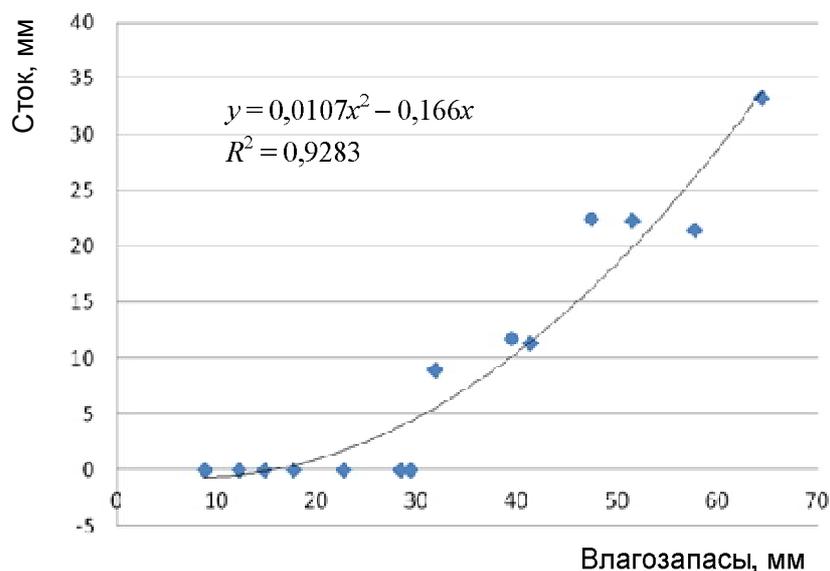


Рисунок 18 – Влияние запасов воды в снеге на величину стока талых вод по уплотненной пашне, АОЗТ «Подлужное», 2002–2015 гг.

5.3.2 Влияние водно-физических свойств почвы на сток талых вод и смыв почвы

Для выяснения влияния различных факторов на величину стока талых вод и смыв почвы авторами проводились исследования по изучению изменения водно-физических показателей почв и их влиянию на поверхностный сток: глубины про-

мерзания, влажности верхнего слоя почвы, водопроницаемости почвы в период стока по рыхлой и уплотненной пашне в п. Степной Ростовской области (таблица 41) и АОЗТ «Подлужное» Ставропольского края (таблица 42).

Таблица 41 – Влияние водно-физических свойств почвы на сток талых вод и смыв почвы с рыхлой пашни, п. Степной , 2000–2015 гг.

Год	Запас воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Влажность верхнего 0–30 см слоя почвы, %	Водопроницаемость в период стока, мм/мин	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
2000	30,4	29	26,8	0,88	0	0	0
2001	31,3	35	28,1	0,91	0	0	0
2002	28,9	31	27,3	0,86	0	0	0
2003	83,8	71	40,4	0,001	63,2	0,75	39,6
2004	30,1	28	29,5	0,74	0	0	0
2005	32,2	21	28,1	0,98	0	0	0
2006	60,6	48	40,1	0,003	17,4	0,29	18,4
2007	15,4	5	27,9	1,23	0	0	0
2008	39,1	45	34,5	0,23	10,1	0,26	12,1
2009	19,8	27	32,1	0,871	0	0	0
2010	29,4	31	29,5	0,967	0	0	0
2011	41,1	25	30,8	0,084	22,2	0,54	25,6
2012	18,7	19	32,4	0,917	0	0	0
2013	31,5	34	33,1	0,985	0	0	0
2014	35,8	44	39,8	0,007	7,3	0,2	6,8
2015	19,4	12	29,7	1,019	0	0	0
Среднее	34,22	31,56	31,88	0,67	7,51	0,13	6,41

Таблица 42 – Влияние водно-физических свойств почвы на сток талых вод и смыв почвы с рыхлой пашни, АОЗТ «Подлужное», 2002–2015 гг.

Год	Запас воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Влажность верхнего 0–30 см слоя почвы, %	Водопроницаемость в период стока, мм/мин	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
1	2	3	4	5	6	7	8
2002	32,4	32	28,1	0,751	0	0,00	0
2003	28,5	41	24,7	0,743	0	0,00	0
2004	85,2	57	33,5	0,045	32,1	0,38	22,1
2005	29,7	71	35,1	0,001	4,2	0,14	2,1
2006	71,2	32	33,7	0,009	22,7	0,32	16,7
2007	17,8	22	22,4	0,987	0	0,00	0
2008	29,5	44	27,1	0,085	0	0,00	0
2009	17,4	25	28,6	0,852	0	0,00	0
2010	28,7	34	26,5	0,546		0,00	0

Продолжение таблицы 42

1	2	3	4	5	6	7	8
2011	49,6	58	35,4	0,007	26,2	0,53	18,9
2012	35,7	42	26,8	0,875	0	0,00	0
2013	51,3	55	36,2	0,008	21,4	0,42	27,4
2014	38,6	27	31,3	0,587	0	0,00	0
2015	30,6	38	28,4	0,971	0	0,00	0
Сред- нее	39,01	44	29,84	0,40	7,61	0,11	5,45

Сток талых вод с рыхлой почвы на черноземе обыкновенном происходит реже, чем с уплотненной пашни на стационарных участках вследствие способности рыхлой почвы впитывать большие объемы талой воды.

Данные, полученные на стоковых площадках в п. Степное, показывают, что из 16 лет наблюдений за влиянием водно-физических свойств почвы на сток талых вод было пять случаев поверхностного стока талых вод (вероятность 31 %).

Математический анализ данных, полученных на участке в п. Степное, позволил установить тесную связь между запасами воды в снеге и стоками общим, жидким и твердым (рисунок 19).

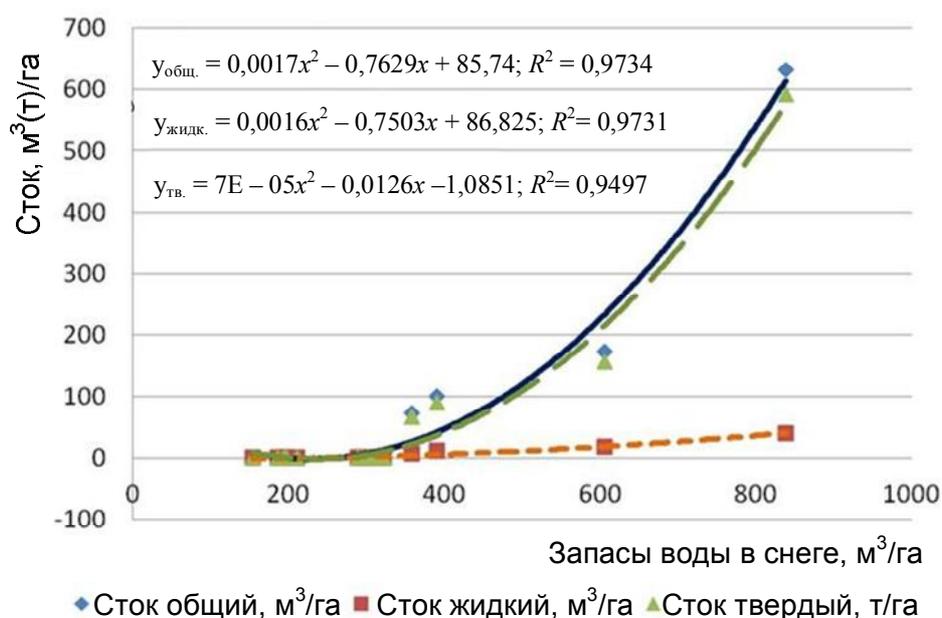


Рисунок 19 – Влияние величины запасов воды в снеге на сток по рыхлой пашне, п. Степной, 2002–2015 гг.

Полученные уравнения показывают на очень высокую корреляционную связь запасов воды в снеге и величины стока. Коэффициент детерминации доходит до единицы. Это так и должно быть, если не будет запасов воды в снеге или снега, то невозможен и сток талых вод.

Наблюдается также тесная связь между величиной стока талых вод по рыхлой почве и смывом почвы (рисунок 20).

На другом стационарном участке в АОЗТ «Подлужное» сток также наблюдался пять раз из 14 лет наблюдений (вероятность 35,7 %).

Математическая обработка позволила установить тесную связь величины запасов воды в снеге со стоком и смывом почвы (рисунки 21 и 22).

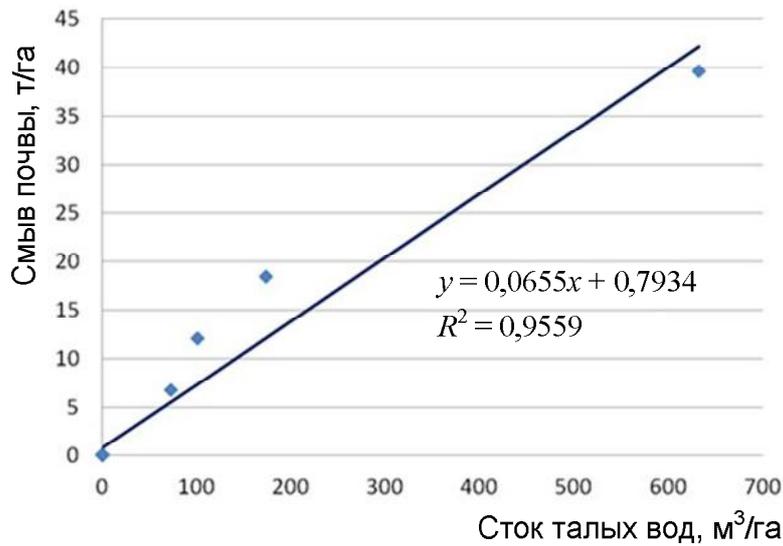


Рисунок 20 – Влияние величины стока по рыхлой пашне на смыв почвы, п. Степной, 2000–2015 гг.

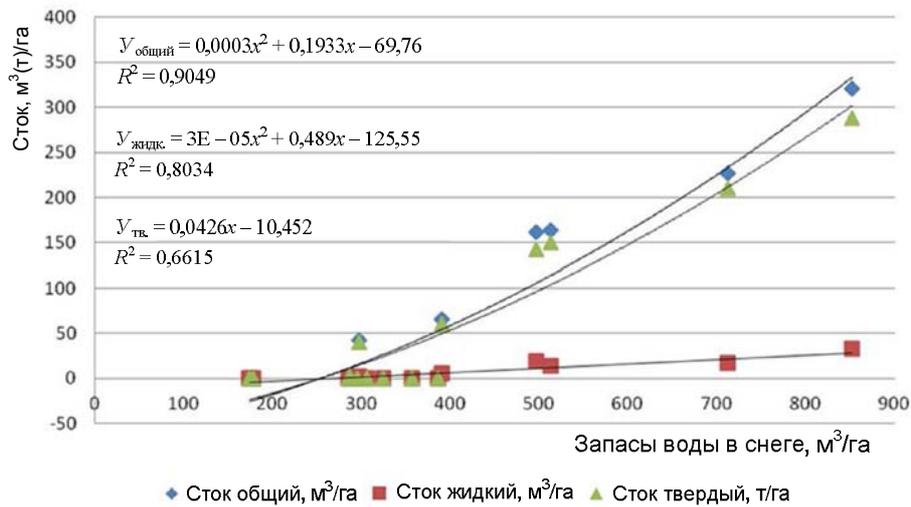


Рисунок 21 – Влияние величины запасов воды в снеге на сток по рыхлой пашне, АОЗТ «Подлужное», 2002–2015 гг.

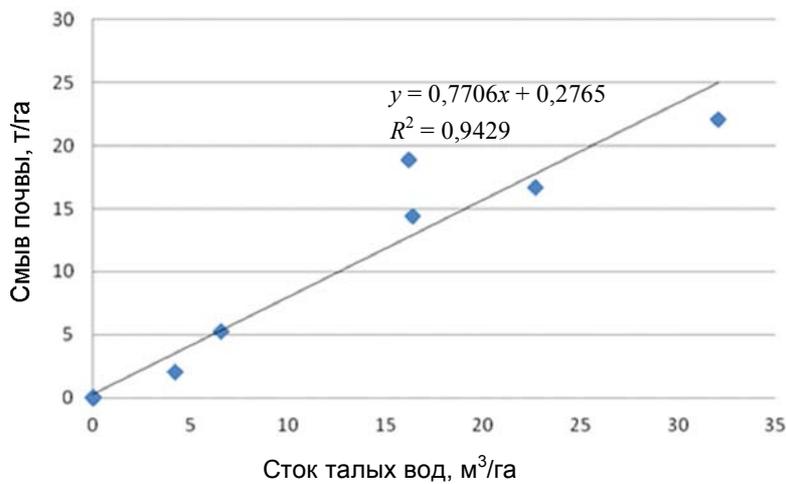


Рисунок 22 – Влияние величины стока по рыхлой пашне на смыв почвы, АОЗТ «Подлужное», 2002–2015 гг.

Более наглядно влияние одновременно нескольких факторов на величину стока талых вод по рыхлой пашне видно на рисунках 23–29 по данным исследований на стоковых площадках у п. Степной, где приводятся результаты статистической обработки взаимовлияния трех факторов.

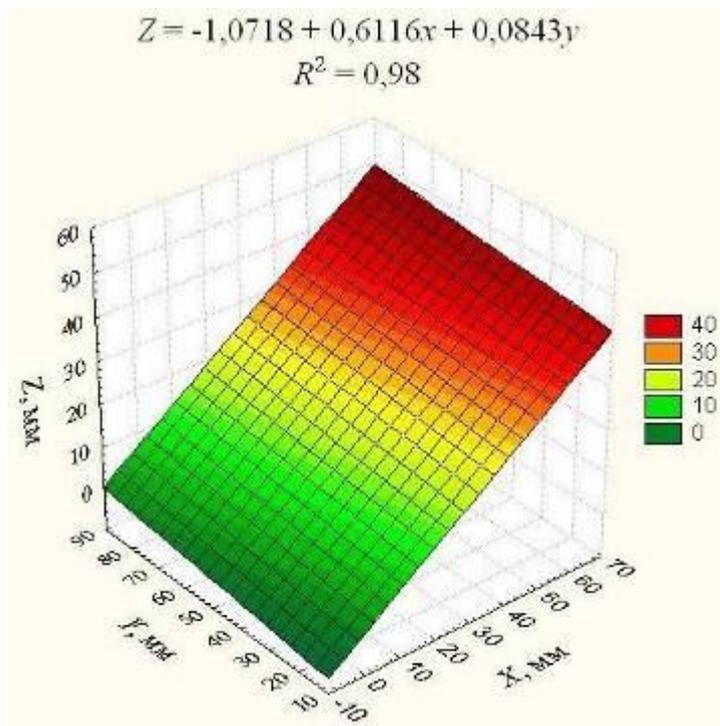


Рисунок 23 – Зависимость смыва почвы от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и стока талых вод, рыхлая пашня

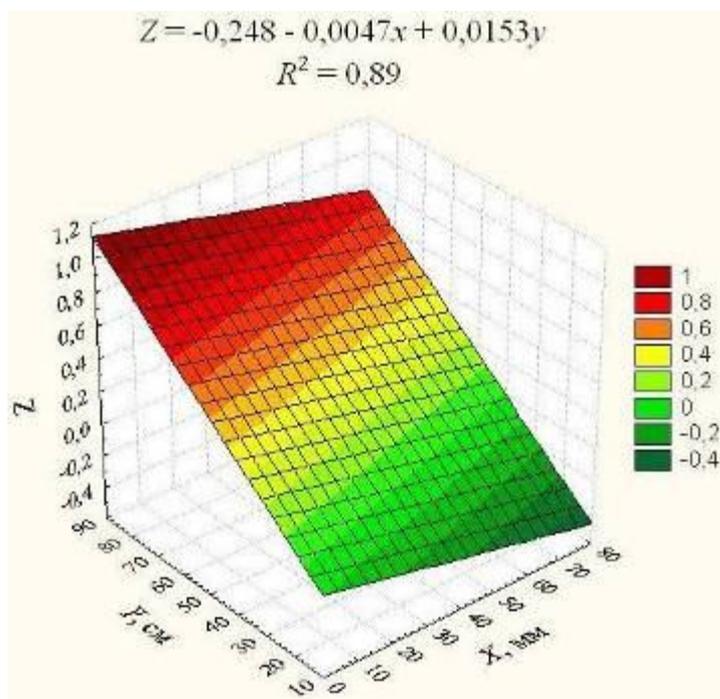


Рисунок 24 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и глубины промерзания почвы, рыхлая пашня

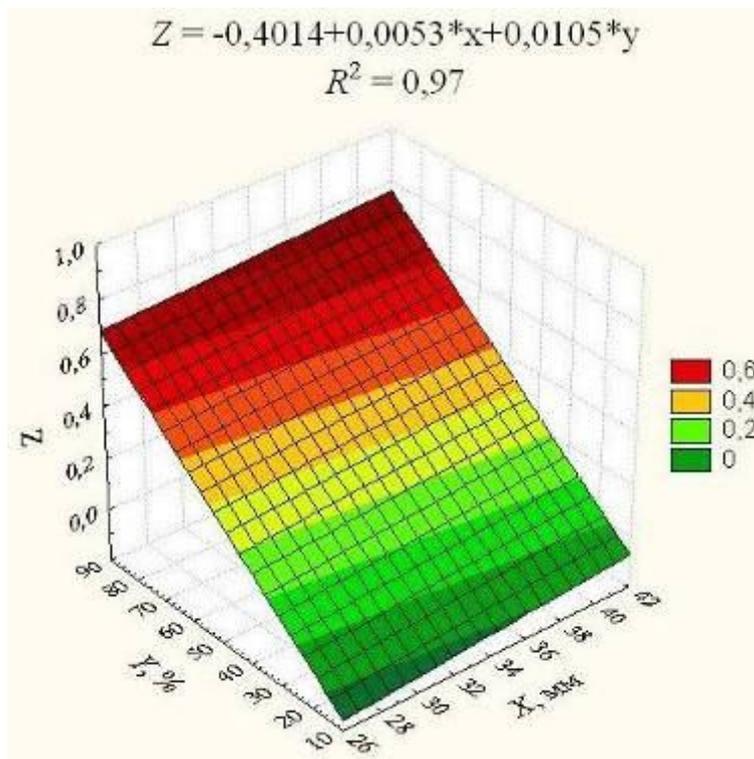


Рисунок 25 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и влажности верхнего 0–30 см слоя почвы, рыхлая пашня

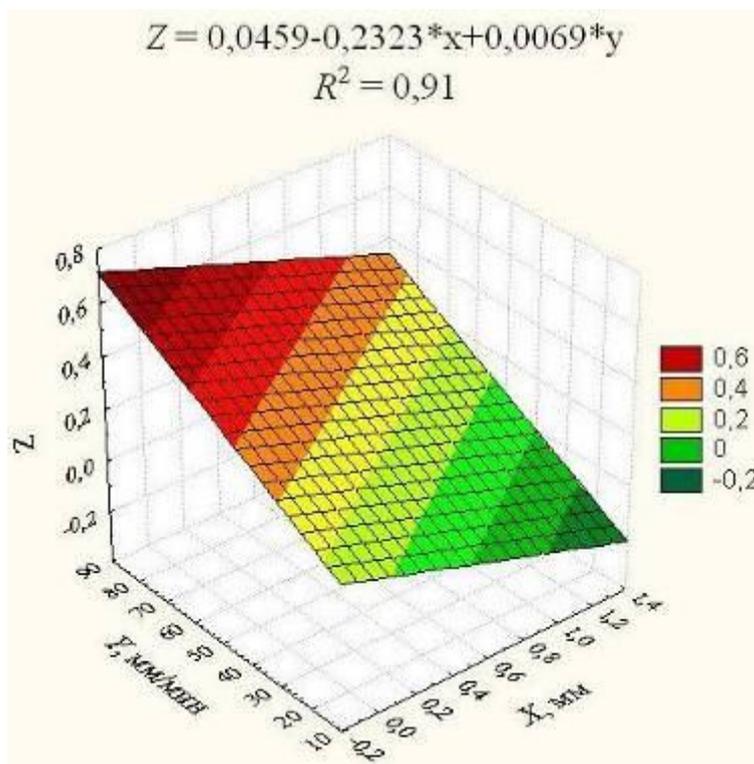


Рисунок 26 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и водопроницаемости в период стока, рыхлая пашня

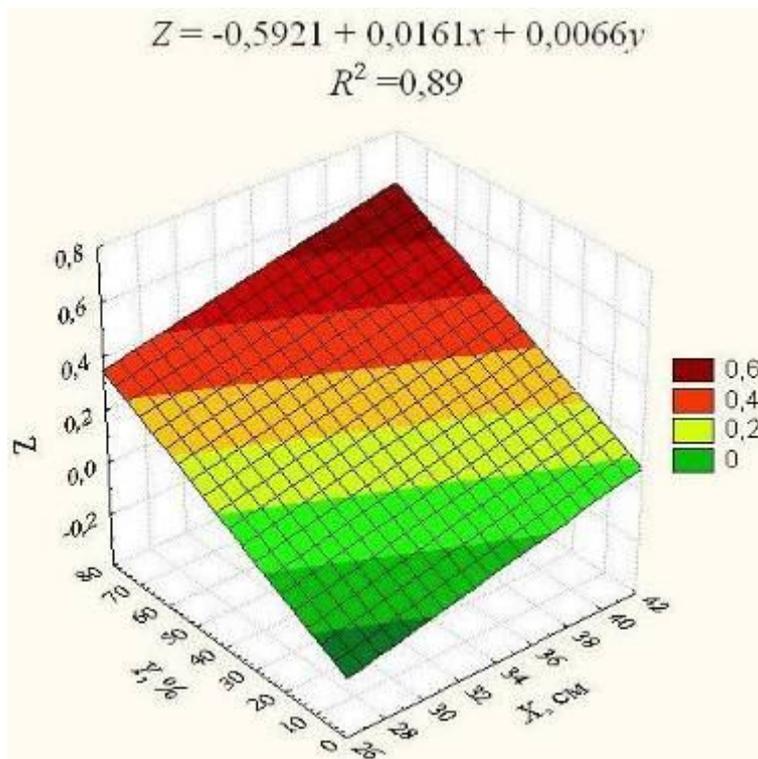


Рисунок 27 – Зависимость коэффициента стока от глубины промерзания почвы и влажности верхнего 0–30 см слоя почвы, рыхлая пашня

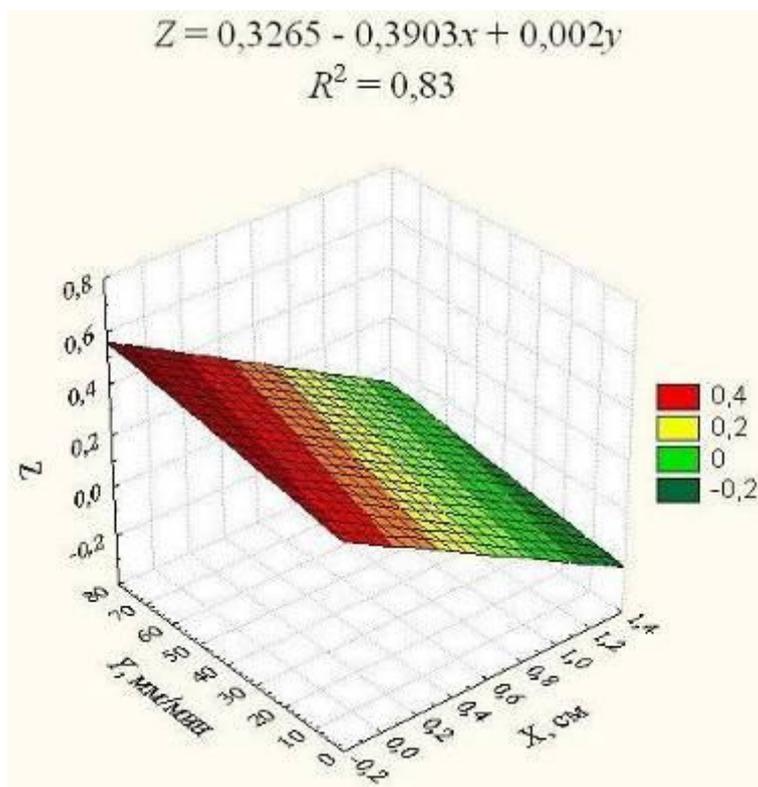


Рисунок 28 – Зависимость коэффициента стока от глубины промерзания почвы и водопроницаемости в период стока, рыхлая пашня

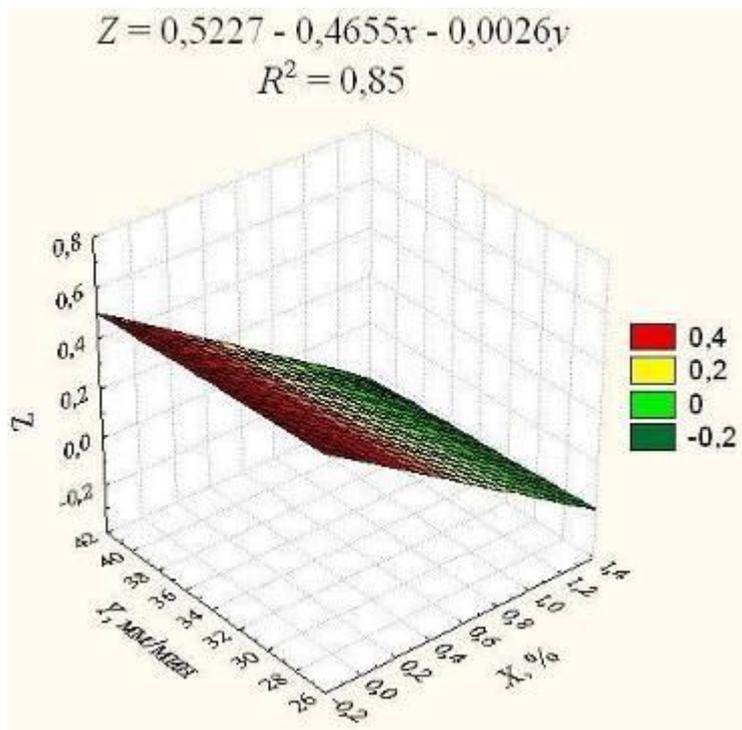


Рисунок 29 – Зависимость коэффициента стока от влажности верхнего 0–30 см слоя почвы и водопроницаемости в период стока, рыхлая пашня

Авторами получены зависимости показателей поверхностного стока в АОЗТ «Подлужное» Изобильненского района Ставропольского края (рисунки 30–36).

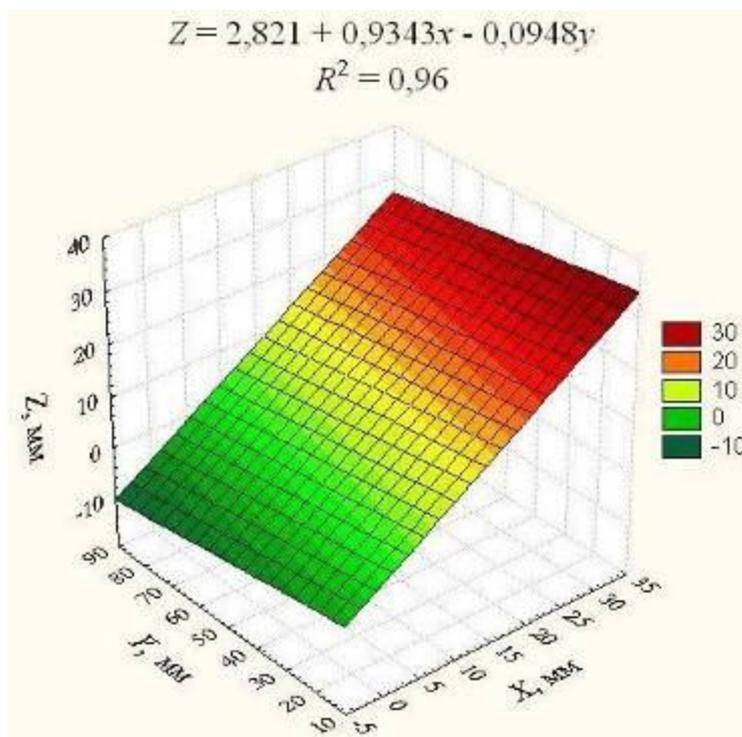


Рисунок 30 – Зависимость смыва почвы от запасов воды в снегу перед снеготаянием + осадки в период таяния и стока талых вод, рыхлая пашня

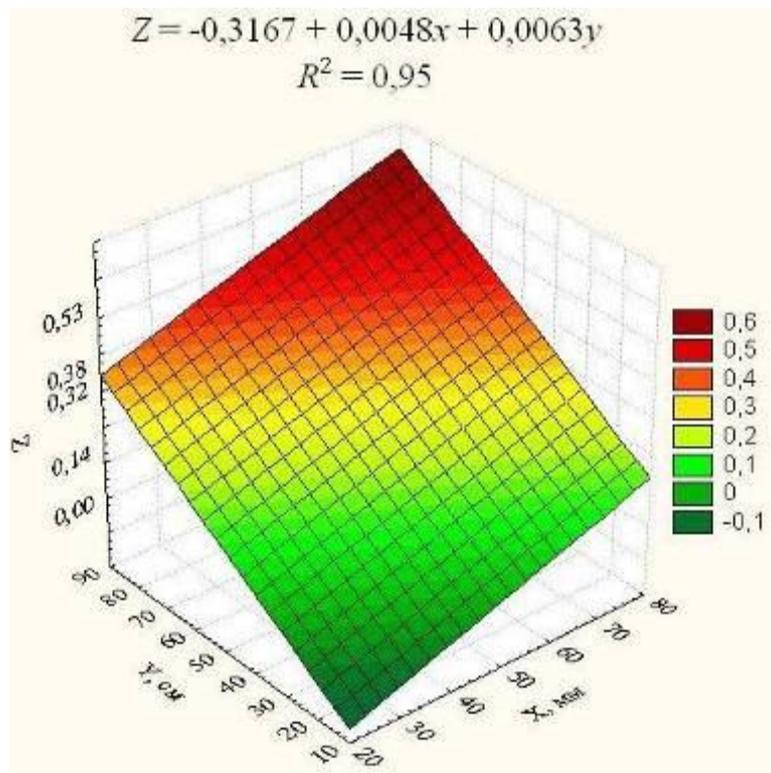


Рисунок 31 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и глубины промерзания почвы, рыхлая пашня

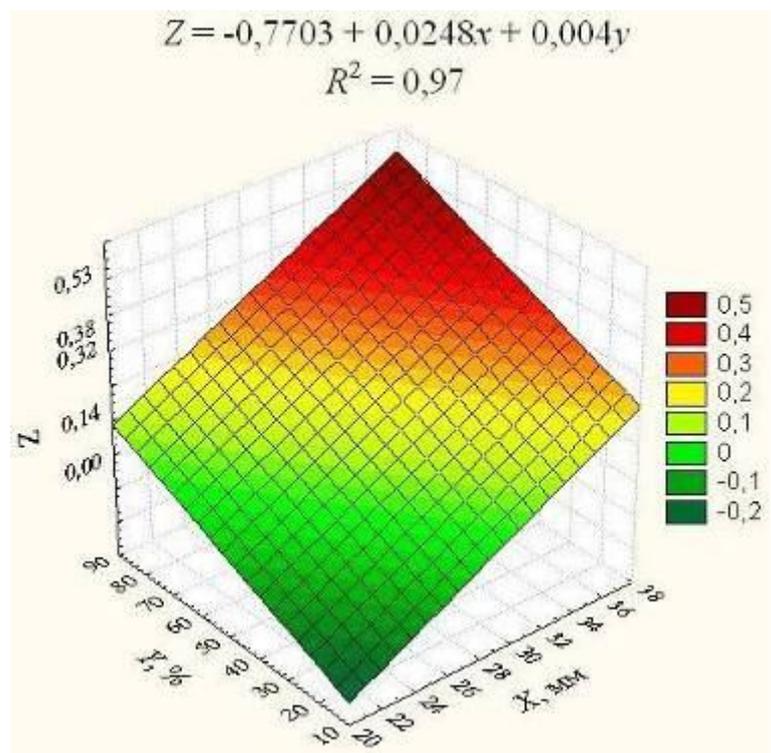


Рисунок 32 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и влажности верхнего слоя почвы, рыхлая пашня

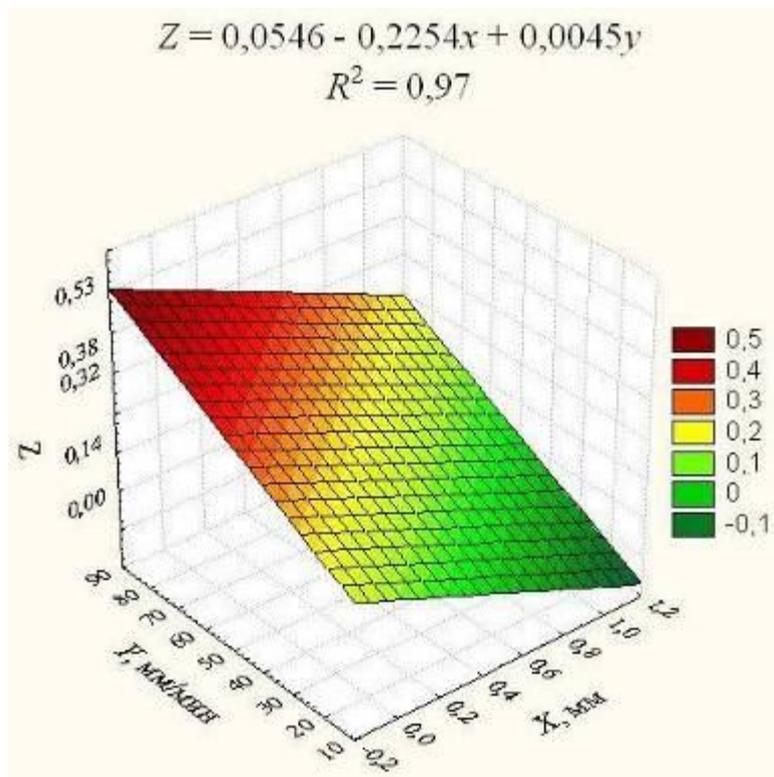


Рисунок 33 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и водопроницаемости в период стока, рыхлая пашня

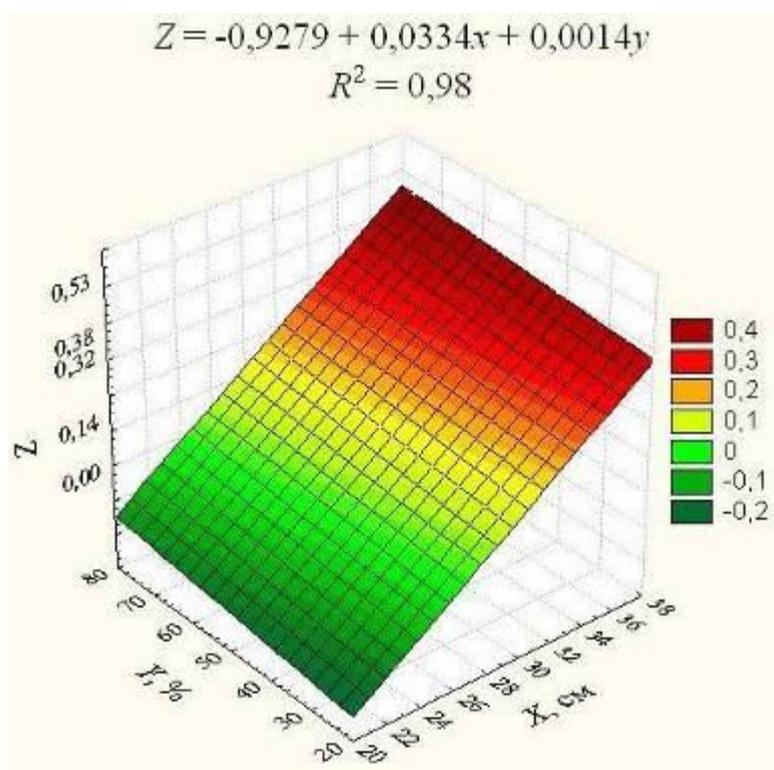


Рисунок 34 – Зависимость коэффициента стока от глубины промерзания почвы и влажности верхнего 0–30 см слоя почвы, рыхлая пашня

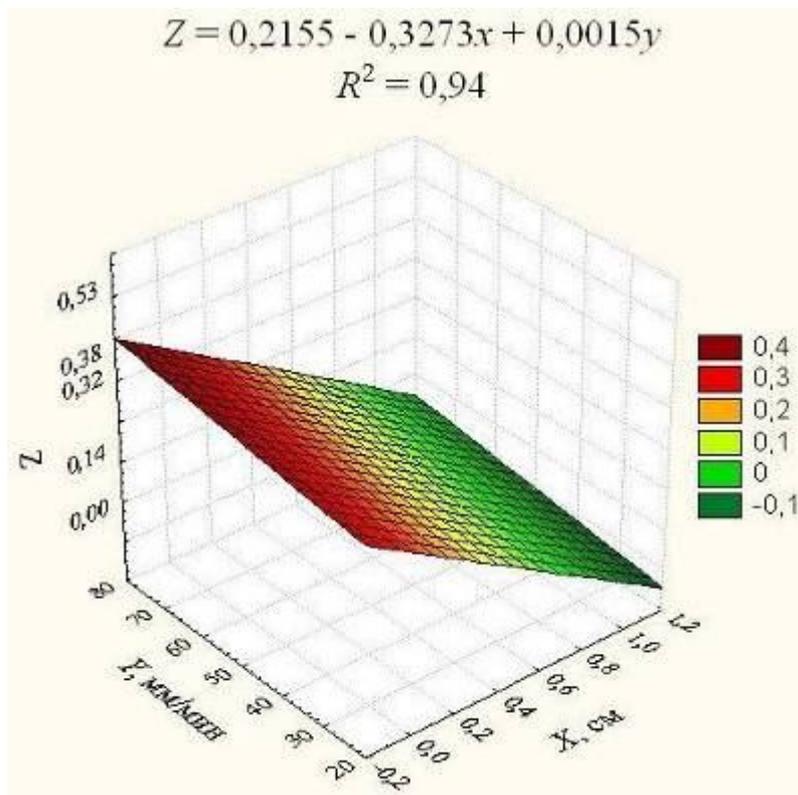


Рисунок 35 – Зависимость коэффициента стока от глубины промерзания почвы и водопроницаемости в период стока, рыхлая пашня

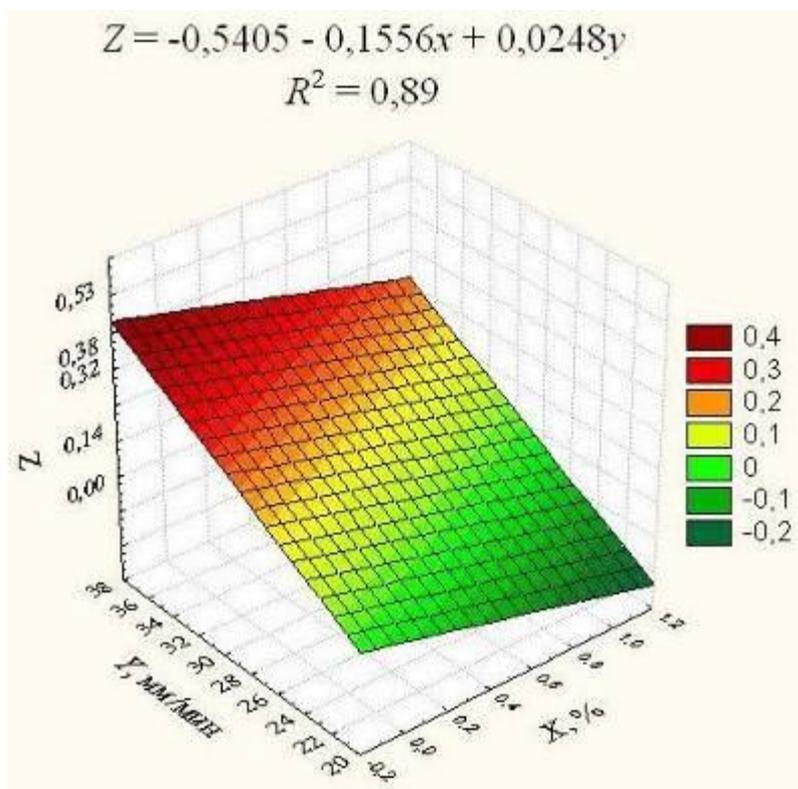


Рисунок 36 – Зависимость коэффициента стока от влажности верхнего 0–30 см слоя почвы и водопроницаемости в период стока, рыхлая пашня

В целом характер зависимости величин стоков общего, жидкого и твердого на уплотненной пашне сохраняется таким же, как и на рыхлой пашне (таблица 43).

Таблица 43 – Влияние водно-физических свойств почвы на сток талых вод и смыв почвы с уплотненной пашни, п. Степной, 2000–2015 гг.

Год	Запас воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Влажность верхнего 0–30 см слоя почвы, %	Водопроницаемость в период стока, мм/мин	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
2000	48,9	33	38,9	0,006	0	0	0,4
2001	43,2	37	28,8	0,47	0	0	0
2002	32,5	34	29,3	0,29	0	0	0
2003	89,3	75	42,7	0,001	74,8	0,84	39,6
2004	34,6	30	29,5	0,34	0	0	0
2005	36,6	24	38,4	0,005	0	0	0,6
2006	63,7	51	40,7	0,005	24,6	0,39	18,4
2007	16,5	7	27,0	0,45	0	0	0
2008	38,9	41	41,5	0,002	20,6	0	5,2
2009	20,8	29	33,2	0,520	0	0	0
2010	32,4	33	29,6	0,470	0	0	0
2011	21,3	30	39,9	0,003	7,1	0,33	3,5
2012	21,3	24	33,8	0,433	0	0	0
2013	42,7	39	40,6	0,004	4,5	0,11	2,8
2014	47,9	48	41,5	0,001	18,2	0,38	5,9
2015	21,5	14	29,5	0,512	0	0	0
Среднее	38,26	34,31	35,31	0,22	9,36	0,13	4,78

Нами получены уравнения регрессии с тесной связью на уровне 0,90–0,94, уравнения и коэффициенты детерминации приводятся на рисунках 37, 38.

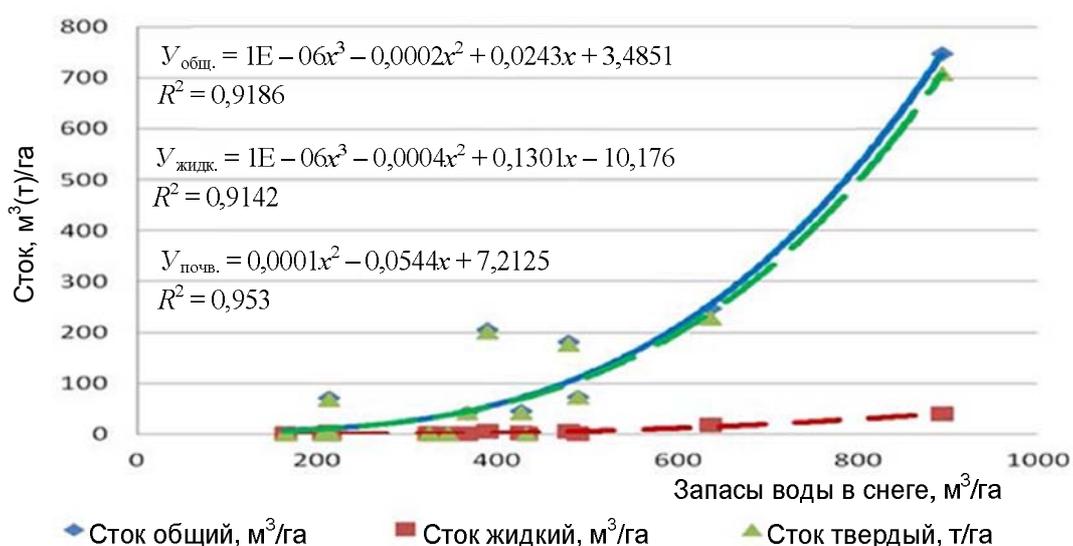


Рисунок 37 – Влияние величины запасов воды в снеге на сток и смыв почвы по уплотненной пашне, п. Степной, 2000–2015 гг.

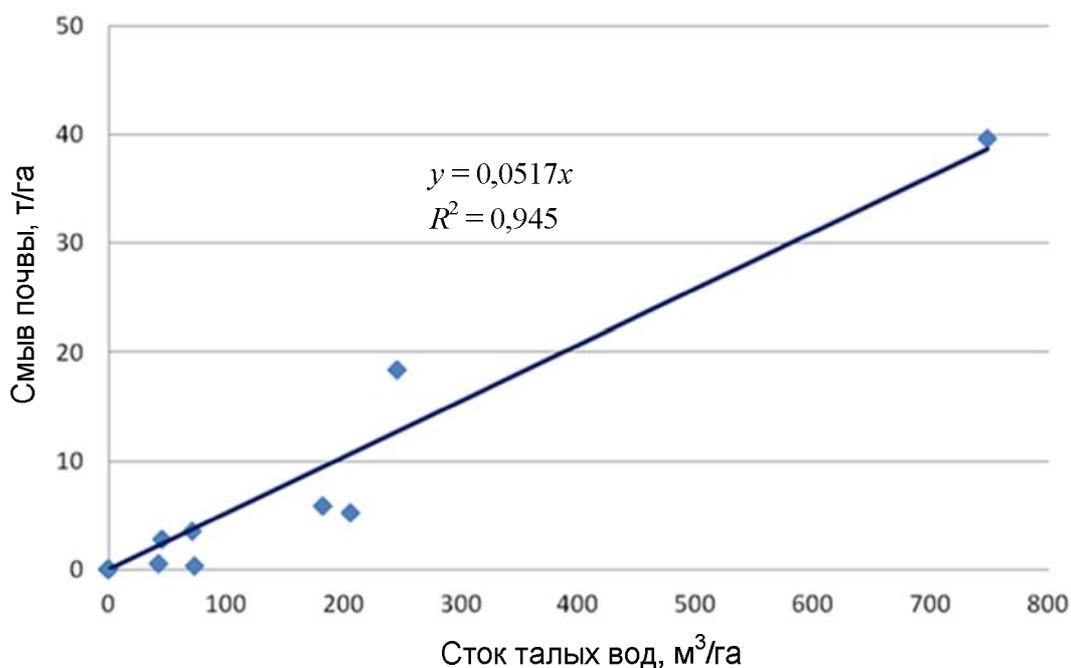


Рисунок 38 – Влияние величины стока по уплотненной пашне на смыв почвы, п. Степной, 2000–2015 гг.

Подобные данные получены и при исследованиях в АОЗТ «Подлужное» Изобильненского района Ставропольского края, проводимые в 2002–2015 гг. (таблица 44, рисунки 39, 40).

Таблица 44 – Влияние водно-физических свойств почвы на сток талых вод и смыв почвы с уплотненной пашни, чернозем, уклон 0,008, АОЗТ «Подлужное», 2002–2015 гг.

Год	Запас воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм	Глубина промерзания почвы, см	Влажность верхнего 0–30 см слоя почвы, %	Водопроницаемость в период стока, мм/мин	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
2002	38,9	32	28,1	0,751	0	0,00	0
2003	36,2	49	24,7	0,743	0	0,00	0
2004	88,1	57	33,5	0,045	32,1	0,36	22,1
2005	31,4	46	35,1	0,001	4,2	0,13	2,1
2006	68,9	59	33,7	0,009	22,7	0,33	16,7
2007	22,4	22	22,4	0,987	0	0,00	0
2008	31,8	49	27,1	0,085	14,2	0,45	12,8
2009	25,8	33	28,6	0,852	0	0,00	0
2010	55,9	55	26,5	0,546	17,8	0,32	15,1
2011	48,7	38	35,4	0,007	26,2	0,54	18,9
2012	38,7	32	26,8	0,875	0	0,00	0
2013	55,6	47	36,2	0,008	21,4	0,38	27,4
2014	39,4	61	31,3	0,587	17,7	0,45	11,4
2015	32,6	44	28,4	0,971	0	0,00	0
Среднее	43,89	44,57	29,84	0,40	11,16	0,19	7,91

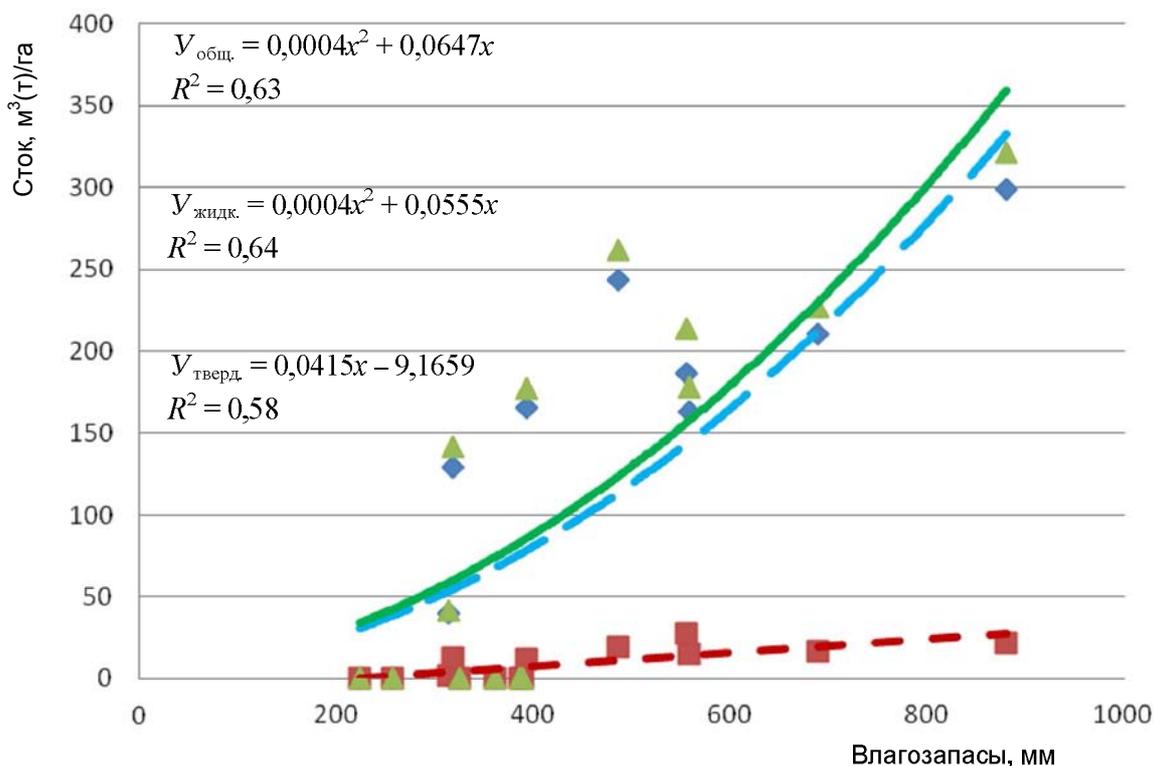


Рисунок 39 – Влияние величины запасов воды в снеге на сток и смыв почвы по уплотненной пашне, АОЗТ «Подлужное», 2002–2015 гг.

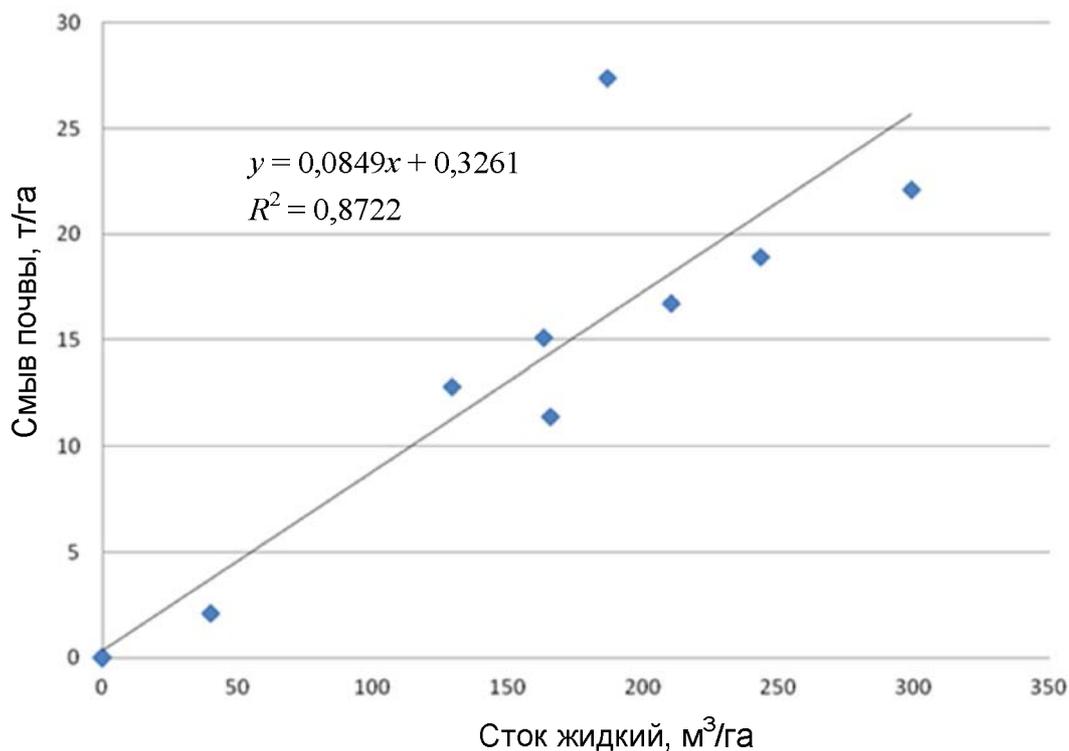


Рисунок 40 – Влияние величины стока по уплотненной пашне на смыв почвы, АОЗТ «Подлужное», 2002–2015 гг.

Получены также зависимости и уравнения влияния двух факторов на сток талых вод по уплотненной пашне и смыв почвы на черноземах обыкновенных у п. Степной (рисунки 41–47) и в АОЗТ «Подлужное» (рисунки 48–54).

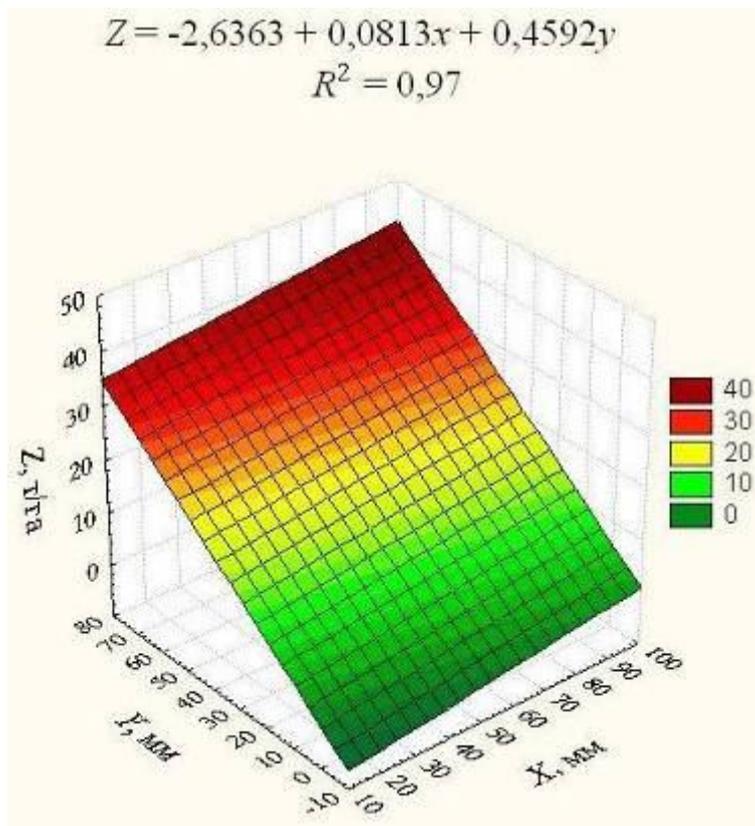


Рисунок 41 – Зависимость смыва почвы от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и стока талых вод по уплотненной пашне, п. Степной

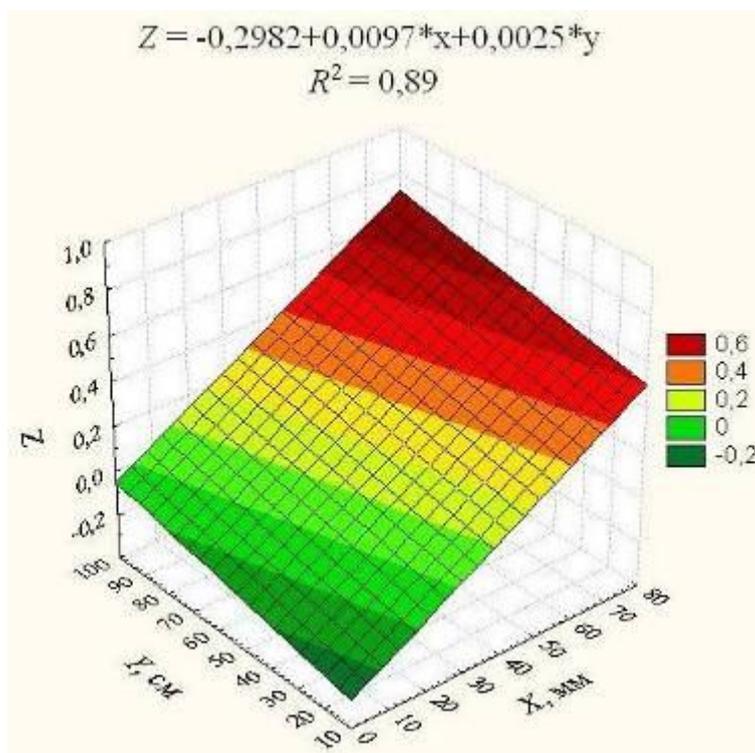


Рисунок 42 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и глубины промерзания почвы по уплотненной пашне, п. Степной

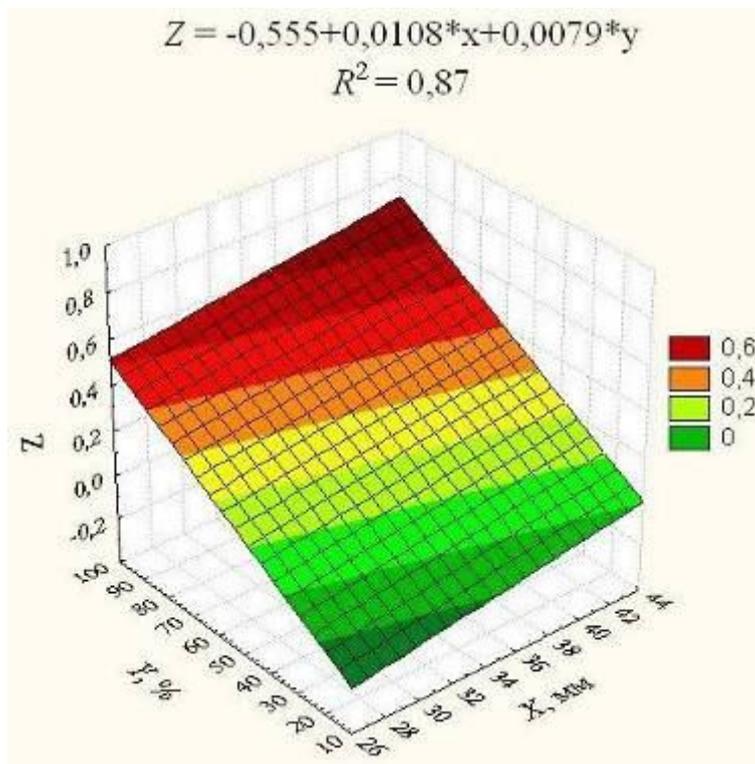


Рисунок 43 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и влажности верхнего 0–30 см слоя почвы по уплотненной пашне, п. Степной

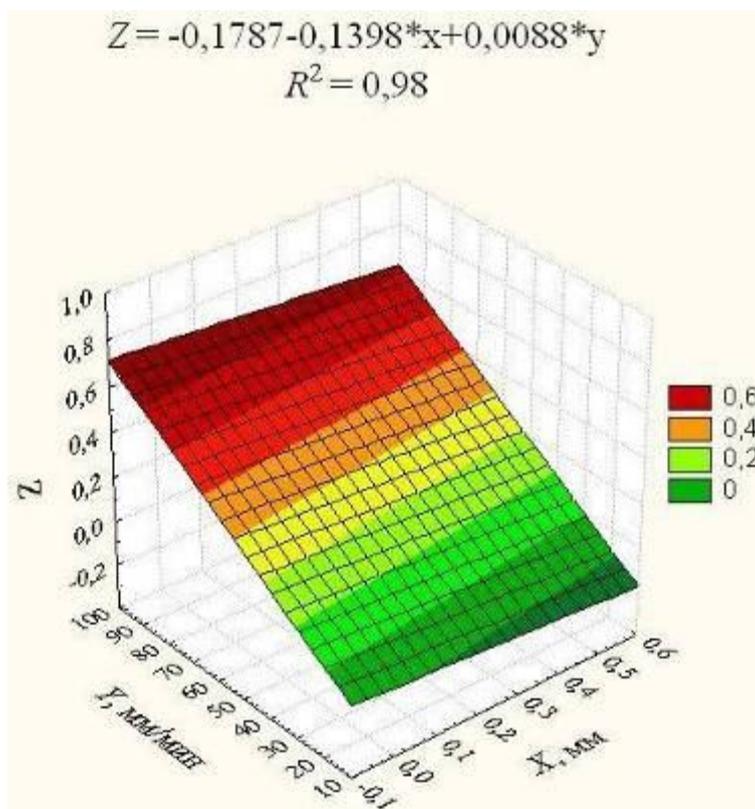


Рисунок 44 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и водопроницаемости в период стока по уплотненной пашне, п. Степной

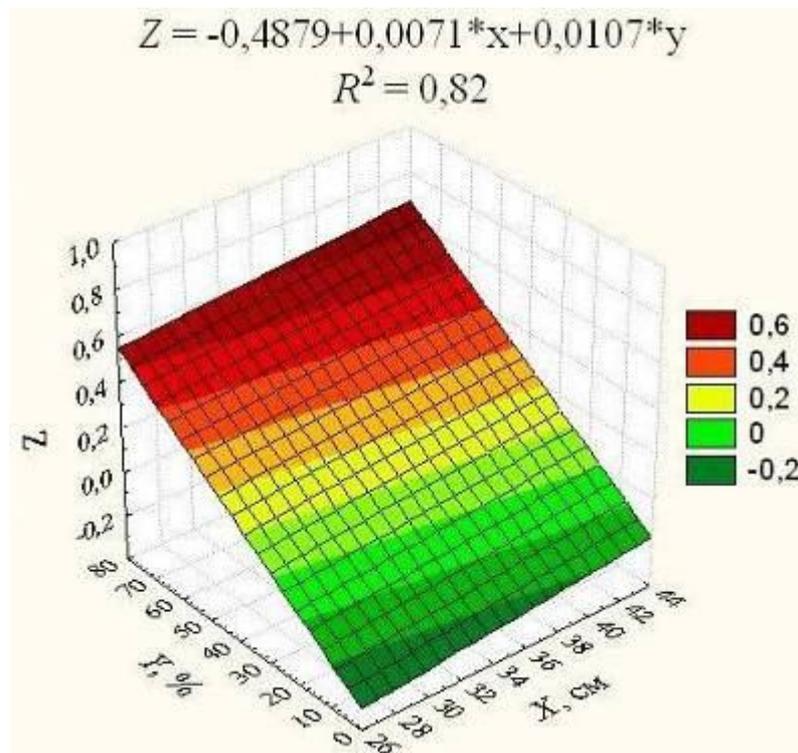


Рисунок 45 – Зависимость коэффициента стока от глубины промерзания почвы и влажности верхнего 0–30 см слоя почвы по уплотненной пашне, п. Степной

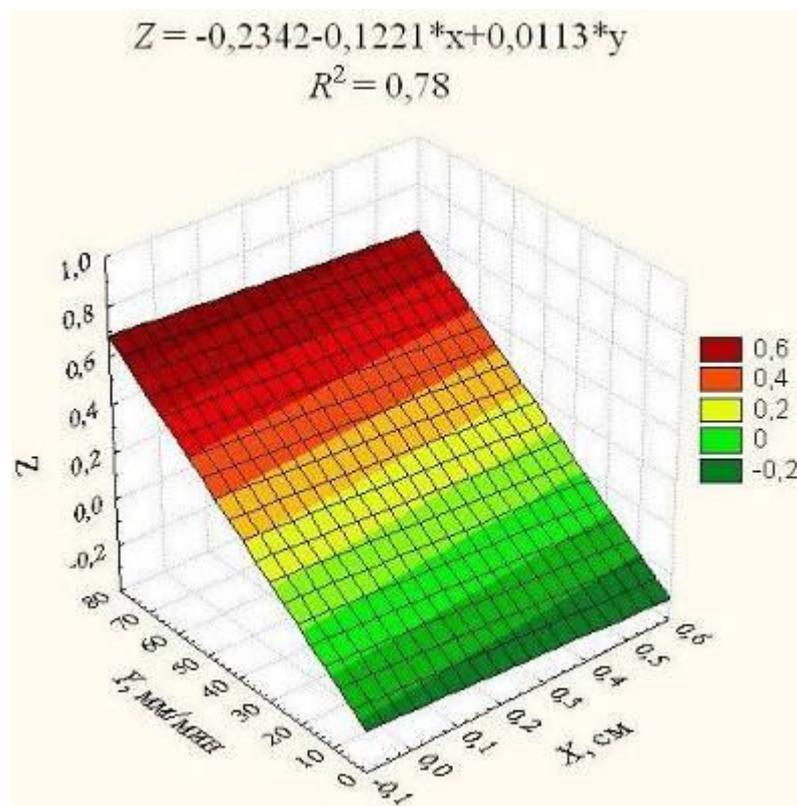


Рисунок 46 – Зависимость коэффициента стока от глубины промерзания почвы и водопроницаемости в период стока по уплотненной пашне, п. Степной

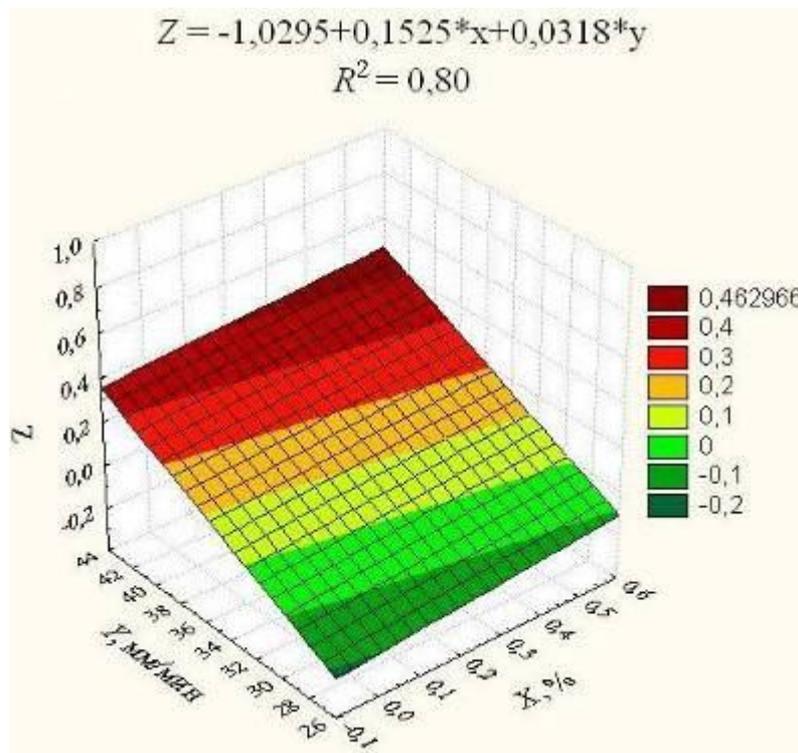


Рисунок 47 – Зависимость коэффициента стока от влажности верхнего 0–30 см слоя почвы и водопроницаемости в период стока по уплотненной пашне, п. Степной

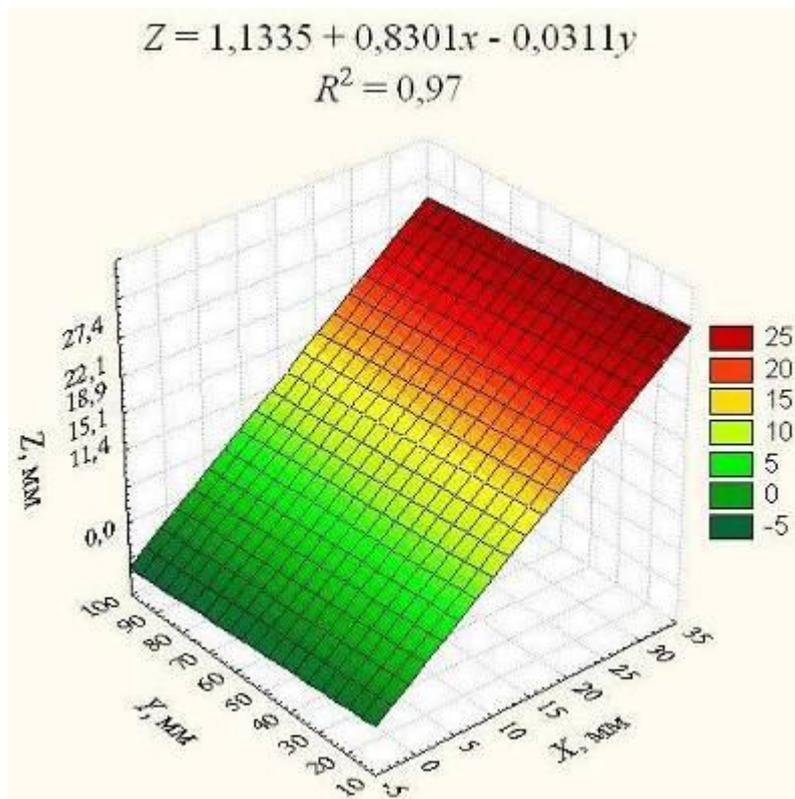


Рисунок 48 – Зависимость смыва почвы от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и стока талых вод по уплотненной пашне, АОЗТ «Подлужное»

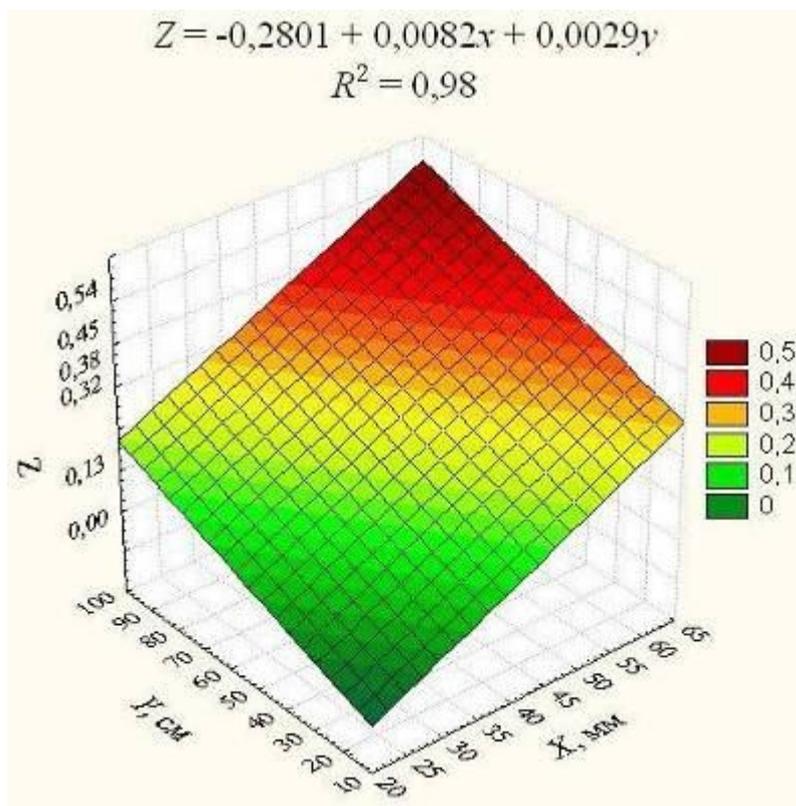


Рисунок 49 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и глубины промерзания почвы по уплотненной пашне, АОЗТ «Подлужное»

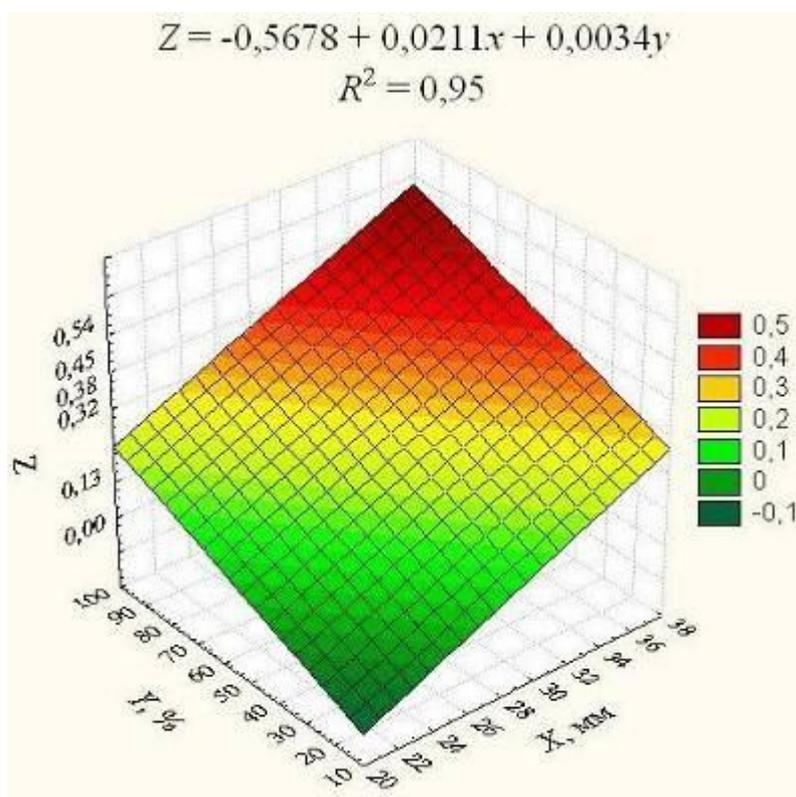


Рисунок 50 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и влажности верхнего 0–30 см слоя почвы по уплотненной пашне, АОЗТ «Подлужное»

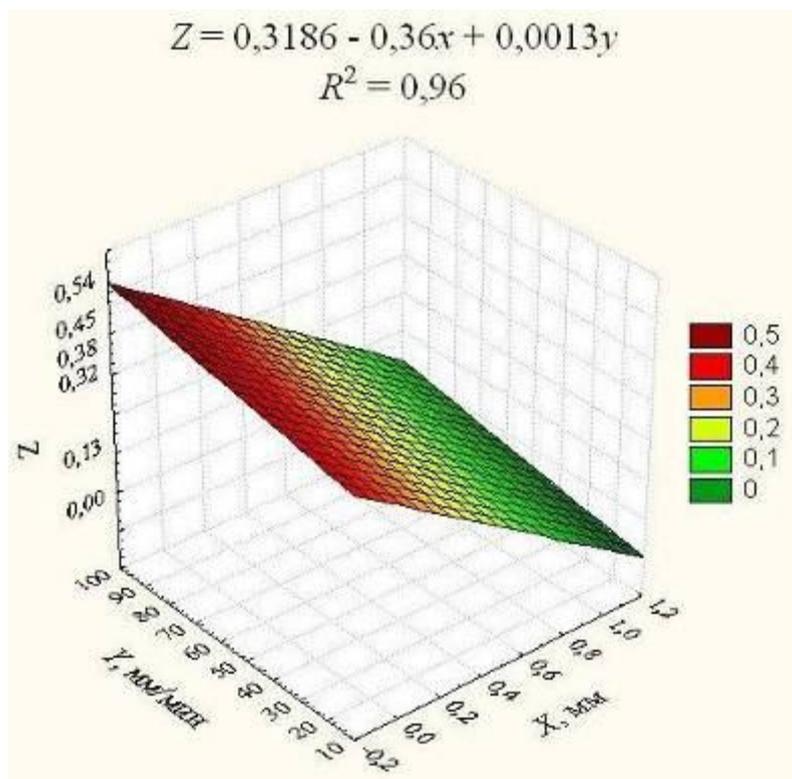


Рисунок 51 – Зависимость коэффициента стока от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния и водопроницаемости в период стока по уплотненной пашне, АОЗТ «Подлужное»

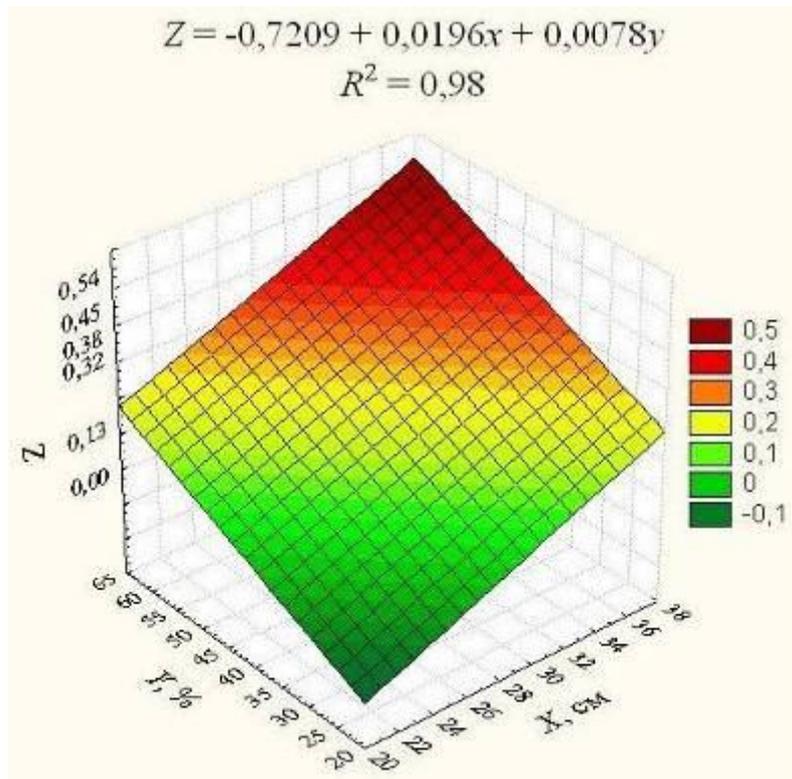


Рисунок 52 – Зависимость коэффициента стока от глубины промерзания почвы и влажности верхнего 0–30 см слоя почвы по уплотненной пашне, АОЗТ «Подлужное»

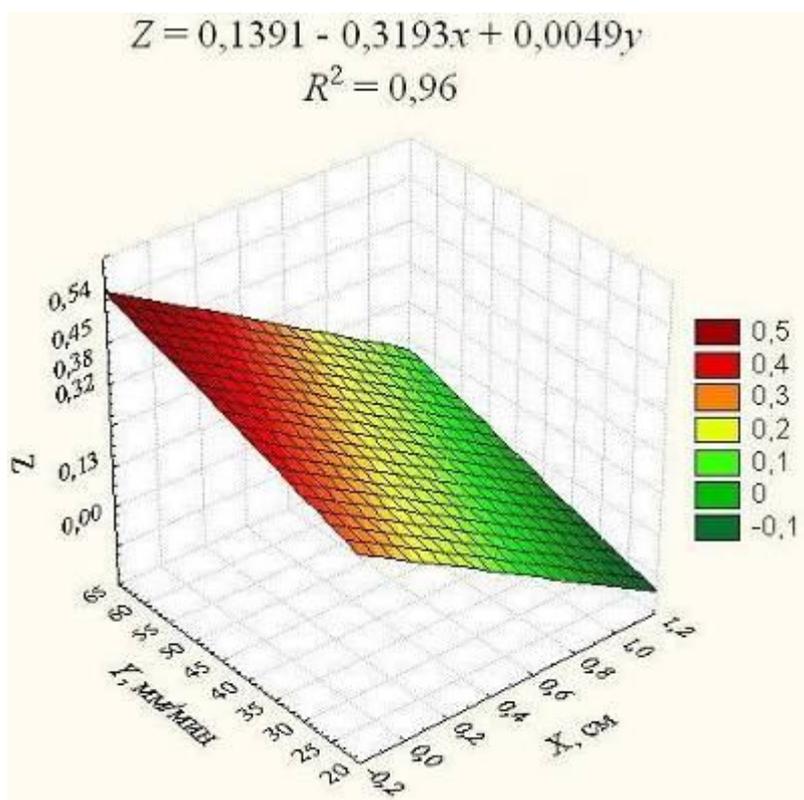


Рисунок 53 – Зависимость коэффициента стока от глубины промерзания почвы и водопроницаемости в период стока по уплотненной пашне, АОЗТ «Подлужное»

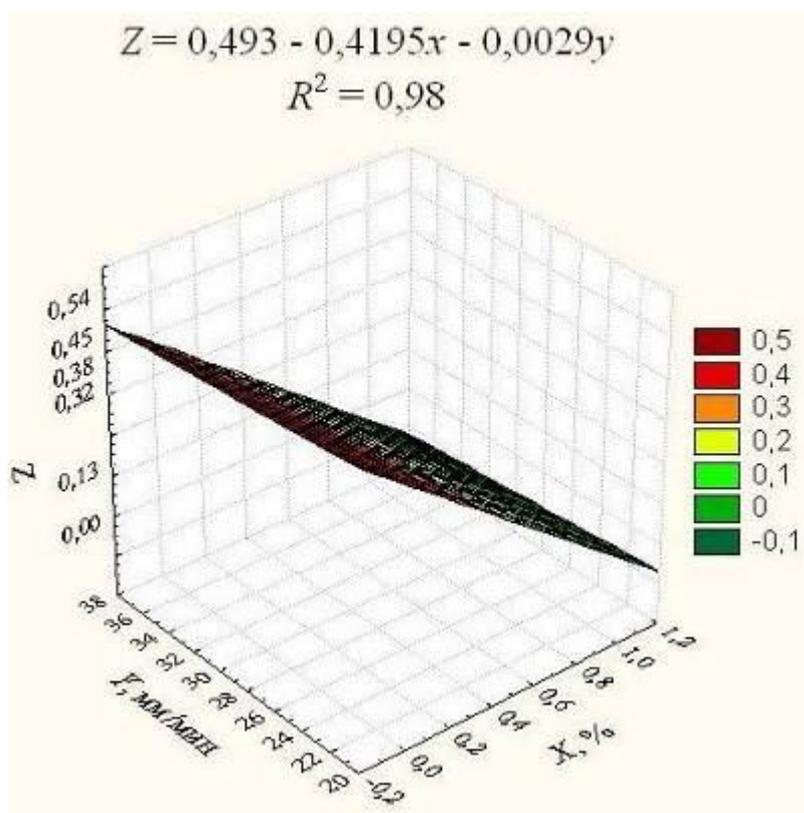


Рисунок 54 – Зависимость коэффициента стока от влажности верхнего 0–30 см слоя почвы и водопроницаемости в период стока по уплотненной пашне, АОЗТ «Подлужное»

5.3.3 Многокритериальный анализ влияния факторов на поверхностный сток талых вод с уплотненной и рыхлой пашни

В результате проведенных исследований в п. Степной и АОЗТ «Подлужное» в период 2000–2015 гг. авторами были получены и обобщены данные по влиянию водно-физических свойств почвы в период таяния снега на сток талых вод и смыв почвы с уплотненной и рыхлой пашни, а также рассчитаны коэффициенты стока.

Наибольший для нас интерес вызывают показатели объемов стока, коэффициент стока и смыва почвы, которые в дальнейшем участвуют в расчетах ущербов от поверхностного стока.

Для выделения влияющего фактора и сравнения его влияния на зависимую переменную (в нашем случае это $K_{ст}$) различных объясняющих переменных (в нашем случае – a, b, c, d, H, W) применяют стандартизированные коэффициенты регрессии b'_j и коэффициенты эластичности E_j .

Стандартизированный коэффициент показывает, на сколько величин среднеквадратического отклонения изменится в среднем зависимая переменная при увеличении только одной объясняющей переменной при среднеквадратическом отклонении данной переменной, и рассчитывается по формуле:

$$b_i = k \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y}, \quad (40)$$

где k – коэффициент независимой переменной;

σ_x – среднеквадратическое отклонение (варианты) независимой переменной;

σ_y – среднеквадратическое отклонение зависимой переменной.

Коэффициент эластичности показывает, на сколько процентов изменится в среднем зависимая переменная при увеличении отдельно взятой переменной на 1 %, и рассчитывается по формуле:

$$E = k \cdot \frac{\bar{x}}{\bar{y}}, \quad (41)$$

где k – коэффициент переменной, для которой определяется влияние на зависимую переменную;

\bar{x} – среднее значение независимой переменной (среднее варианты);

\bar{y} – среднее значение зависимой переменной (результатирующий фактор).

Результаты анализа исследований, полученных по п. Степной, приводятся ниже в таблицах 45–52.

По результатам исследований получено уравнение регрессии, отражающее зависимость коэффициента стока $K_{ст}$ для уплотненной пашни от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния a (мм), глубины промерзания почвы b (см), влажности верхнего 0–30 см слоя почвы c (%), водопроницаемости почвы в период стока d (мм/мин), стока талых вод H (мм) и смыва почвы W (т/га).

$$K_{ст} = -1,53428 - 0,01128 \cdot a + 0,00820 \cdot b + 0,04733 \cdot c + 0,80930 \cdot d + 0,01213 \cdot H - 0,01103 \cdot W; R^2 = 0,987. \quad (42)$$

Уравнение регрессии имеет высокое значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,987$, что говорит о хорошем приближении линии регрессии к наблюдаемым данным и о возможности построения качественного прогноза.

Таблица 45 – Значения стандартизованного коэффициента и коэффициента эластичности для объясняющих переменных, п. Степной

Переменная	Коэффициент	
	стандартизованный	эластичности
<i>a</i>	-0,769487	-2,38711
<i>b</i>	0,499262	1,42534
<i>c</i>	0,982521	7,850337
<i>d</i>	0,550485	0,664812
<i>H</i>	0,974832	0,806455
<i>W</i>	-0,158145	-0,1334

Анализ таблицы 45 по стандартизованному коэффициенту и коэффициенту эластичности показывает, что на зависимую переменную $K_{ст}$ наибольшее влияние имеет переменная *c* (влажность верхнего 0–30 см слоя почвы), так как стандартизованный коэффициент (значение 0,982521) и коэффициент эластичности (значение 7,850337) имеют наибольшие значения, далее по ранжиру идут переменные *a*, *b*, *d*, *H*, *W*.

Для рыхлой пашни зависимость коэффициента стока $K_{ст}$ от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния *a* (мм), глубины промерзания почвы *b* (см), влажности верхнего 0–30 см слоя почвы *c* (%), водопроницаемости почвы в период стока *d* (мм/мин), стока талых вод *H* (мм) и смыва почвы *W* (т/га) уравнение регрессии имеет также высокий коэффициент детерминации $R^2 = 0,998$ и приняло следующий вид:

$$K_{ст} = 0,368683 - 0,003106 \cdot a + 0,000617 \cdot b - 0,008042 \cdot c - 0,076681 \cdot d + 0,001424 \cdot H + 0,021013 \cdot W; R^2 = 0,998. \quad (43)$$

Таблица 46 – Значения стандартизованного коэффициента и коэффициента эластичности для объясняющих переменных, п. Степной

Переменная	Коэффициент	
	стандартизованный	эластичности
<i>a</i>	-0,249268	-0,84053
<i>b</i>	0,044699	0,148555
<i>c</i>	-0,172405	-1,74839
<i>d</i>	-0,135105	-0,34412
<i>H</i>	0,115893	0,099072
<i>W</i>	1,124359	1,133086

Анализ таблицы 46 по стандартизованному коэффициенту и коэффициенту эластичности показывает, что на зависимую переменную $K_{ст}$, так же, как и в предыдущем случае, наибольшее влияние имеет переменная *c* (влажность верхнего 0–30 см слоя почвы), однако имеется различие в расстановке весомости переменных по ранжиру, а именно *W*, *a*, *d*, *b* и *H*.

При анализе данных водно-физических свойств почвы на сток талых вод, смыв почвы и коэффициент стока с уплотненной пашни получены следующие уравнения регрессии. Зависимость стока талых вод *H* (мм) от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния *a* (мм), глубины промерзания почвы *b* (см), влажности верхнего 0–30 см слоя почвы *c* (%) и водопроницаемости почвы в период стока *d* (мм/мин) имеет вид:

$$H = -142,363 + 0,521 \cdot a + 0,357 \cdot b + 3,040 \cdot c + 74,133 \cdot d; R^2 = 0,83. \quad (44)$$

Таблица 47 – Значения стандартизированного коэффициента и коэффициента эластичности для объясняющих переменных, п. Степной

Переменная	Коэффициент	
	стандартизированный	эластичности
<i>a</i>	0,442295	1,654267
<i>b</i>	0,270441	0,93106
<i>c</i>	0,785491	7,565373
<i>d</i>	0,627694	0,913705

Зависимость коэффициента стока $K_{ст}$ от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния a (мм), глубины промерзания почвы b (см), влажности верхнего 0–30 см слоя почвы c (%) и водопроницаемости почвы в период стока d (мм/мин):

$$K_{ст} = -2,88782 - 0,00498 \cdot a + 0,01109 \cdot b + 0,07535 \cdot c + 1,50423 \cdot d; R^2 = 0,87. \quad (45)$$

Таблица 48 – Значения стандартизированного коэффициента и коэффициента эластичности для объясняющих переменных, п. Степной

Переменная	Коэффициент	
	стандартизированный	эластичности
<i>a</i>	-0,33963	-1,05388
<i>b</i>	0,674891	1,927686
<i>c</i>	1,564041	12,49784
<i>d</i>	1,02317	1,235485

Зависимость смыва почвы W (т/га) от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния a (мм), глубины промерзания почвы b (см), влажности верхнего 0–30 см слоя почвы c (%) и водопроницаемости почвы в период стока d (мм/мин):

$$W = -33,9212 + 0,0024 \cdot a + 0,1308 \cdot b + 0,8046 \cdot c + 18,5626 \cdot d; R^2 = 0,83. \quad (46)$$

Таблица 49 – Значения стандартизированного коэффициента и коэффициента эластичности для объясняющих переменных, п. Степной

Переменная	Коэффициент	
	стандартизированный	эластичности
<i>a</i>	0,011411	0,041995
<i>b</i>	0,554962	1,879896
<i>c</i>	1,163521	11,02629
<i>d</i>	0,880262	1,26077

Все уравнения регрессии, построенные для условий уплотненной пашни, имеют высокие значения коэффициента детерминации, а анализ таблиц 47–49 показывает, что наибольшее влияние на сток талых вод, смыв почвы и коэффициент стока имеет переменная c (влажности верхнего 0–30 см слоя почвы).

При анализе данных водно-физических свойств почвы на сток талых вод, смыв почвы и коэффициент стока с рыхлой пашни получены следующие уравнения регрессии. Зависимость стока талых вод H (мм) от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния a (мм), глубины промерзания почвы b (см),

влажности верхнего 0–30 см слоя почвы c (%) и водопроницаемости почвы в период стока d (мм/мин) имеет вид:

$$H = -190,628 + 0,529 \cdot a + 0,814 \cdot b + 3,616 \cdot c + 58,845 \cdot d; R^2 = 0,93. \quad (47)$$

Таблица 50 – Значения стандартизованного коэффициента и коэффициента эластичности для объясняющих переменных, п. Степной

Переменная	Коэффициент	
	стандартизованный	эластичности
a	0,521836	2,051843
b	0,724607	2,809063
c	0,952699	11,2706
d	1,274269	3,785025

Зависимость коэффициента стока $K_{ст}$ от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния a (мм), глубины промерзания почвы b (см), влажности верхнего 0–30 см слоя почвы c (%) и водопроницаемости почвы в период стока d (мм/мин):

$$K_{ст} = -2,18108 + 0,00161 \cdot a + 0,01040 \cdot b + 0,04933 \cdot c + 0,54249 \cdot d; R^2 = 0,92. \quad (48)$$

Таблица 51 – Значения стандартизованного коэффициента и коэффициента эластичности для объясняющих переменных, п. Степной

Переменная	Коэффициент	
	стандартизованный	эластичности
a	0,129222	0,435691
b	0,753257	2,504
c	1,057475	10,72738
d	0,955817	2,434528

Зависимость смыва почвы W (т/га) от запасов воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния a (мм), глубины промерзания почвы b (см), влажности верхнего 0–30 см слоя почвы c (%) и водопроницаемости почвы в период стока d (мм/мин) имеет вид:

$$W = -108,418 + 0,188 \cdot a + 0,410 \cdot b + 2,485 \cdot c + 25,477 \cdot d; R^2 = 0,95. \quad (49)$$

Таблица 52 – Значения стандартизованного коэффициента и коэффициента эластичности для объясняющих переменных, п. Степной

Переменная	Коэффициент	
	стандартизованный	эластичности
a	0,282007	0,943486
b	0,554991	1,83067
c	0,995582	10,02153
d	0,838925	2,120297

Все уравнения регрессии, полученные для условий рыхлой пашни, имеют высокие значения коэффициента детерминации даже незначительно выше, чем для условий уплотненной пашни, а анализ таблиц 50–52 показывает, что наибольшее влияние на сток талых вод, смыв почвы и коэффициент стока имеет переменная c (влажность верхнего 0–30 см слоя почвы).

В результате анализа уравнений регрессии и визуализированных трехмерных графиков для условий уплотненной и рыхлой пашни можно сделать следующие выводы:

- по стандартизированному коэффициенту и коэффициенту эластичности наибольшее влияние на сток талых вод, смыв почвы и коэффициент стока имеет переменная c (влажность верхнего 0–30 см слоя почвы);

- коэффициент детерминации во всех уравнениях регрессии имеет высокие значения, что говорит о хорошем приближении линии регрессии к наблюдаемым данным и возможности их применения при разработке программного обеспечения;

- при анализе визуализированных трехмерных зависимостей по результативному фактору, смыву почвы, для условий уплотненной и рыхлой пашни следует, что разный принцип формирования процесса смыва почвы связан с различными состояниями пашни, так как это влияет на разные режимы накопления влаги и сток талых вод.

5.3.4 Влияние уклона поверхности почвы и способов обработки на поверхностный сток талых вод и смыв почвы

Исследования влияния талых вод на поверхностный сток проводились в АОЗТ «Подлужное» Изобильненского района Ставропольского края (Д. А. Шевченко, СтавГАУ) в 2002–2015 гг.

Исследования показали, что критическая крутизна склона, где начинается интенсивный размыв, определяется зональными и местными условиями, особенно поверхностным стоком, зависящим от характера угодья (пашня, залежь, лес).

На склонах вначале развивается делювиальная эрозия, которая выражена плоскостным смывом, предшествующим размыву. Она является первой стадией эрозии, а линейная – второй. Плоскостная и линейная эрозии протекают совместно.

Исследования показали, что после поверхностного смыва, а местами независимо от него, начинается образование оврагов по следующим этапам: 1) формирование рытвин и промоин, дно которых повторяет профиль поверхности склона; 2) образование оврагов с растущими вершинами; 3) развитие оврагов с профилем дна; 4) затухание донного размыва при достижении профиля равновесия, сопровождающееся выполаживанием, укреплением и задернением склонов и дна. Овраг, отмирая, переходит в стадию балки с пологими задернованными склонами и широким дном часто без выраженного русла. Иногда на дне при возобновлении линейной эрозии возникает новое русло.

Проведенные авторами исследования по изучению влияния стока талых вод и их влияния на эрозию почвы позволили установить, что объемы стока талых вод зависят от высоты снежного покрова, экспозиции склона и температурного режима в период таяния снега.

Чем круче и длиннее склон, тем больше поверхностный сток и сильнее разрушительная работа воды. Южные склоны эродируются значительно сильнее северных. Выпуклые склоны подвержены водной эрозии больше, чем вогнутые. На выпуклых склонах эрозия усиливается с нарастанием крутизны вниз по склону, а на вогнутых – ослабляется вниз вследствие уменьшения крутизны склона и снижения скорости потоков талых и ливневых вод.

Например, авторами установлено, что на северной экспозиции при уклонах 0,5–2,0°, 2,1–3,5° и 3,6–5,0° запасы воды в снеге составили соответственно 56,3; 44,5 и 38,9 мм. В то же время размеры стока изменяются пропорционально величине уклонов с 16,7 до 17,7 мм, коэффициент стока с 0,30 до 0,49 и, что особенно наглядно (рисунок 55), увеличивается масса смытой почвы с 1,08 до 2,61 т/га или в 2,4 раза.

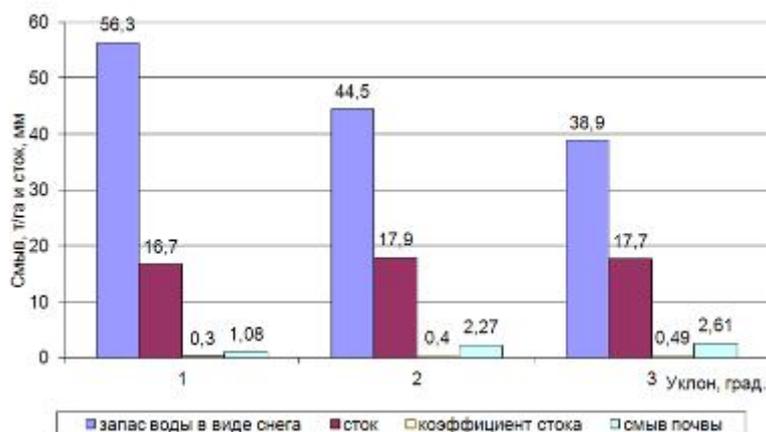


Рисунок 55 – Влияние уклона местности на величину стока и смыв почвы талой водой, АОЗТ «Подлужное», 2002–2004 гг.

Эти данные показывают, что при всех примерно равных условиях основное влияние на массу смытой почвы оказывает величина уклона и показатели стока (рисунок 56).

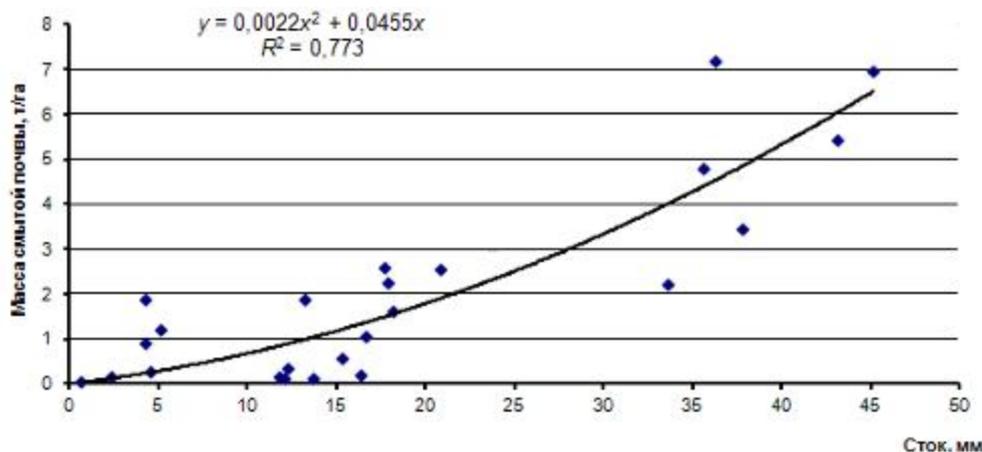


Рисунок 56 – Зависимость массы смытой почвы от величины стока, АОЗТ «Подлужное», 2002–2004 гг.

Исследования, проведенные в следующем опыте, также показали, что на величину стока талых вод оказывают большое влияние способы основной обработки почвы (таблица 53, рисунок 57).

Таблица 53 – Смыв почвы и питательных веществ талыми водами в зависимости от способа обработки почвы и уклона (южная экспозиция)

Вариант	Смыв почвы, т/га						Вынос NPK с почвой, г/га			
	2002	2003	2004	Средний за 2002–2004 гг.	$\pm\Delta$, т/га	%	N	P	K	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Уклон 0,5–2,0°										
Вспашка	0,17	3,44	1,22	1,61	–	–	9,7	6,4	488	504,1
Плоскорезная обработка	0,24	3,89	1,38	1,83	0,22	14	10,9	7,3	549	567,2

Продолжение таблицы 53

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дискование	0,32	4,11	1,44	1,96	0,35	22	11,8	7,8	588	607,6
Уклон 2,1–3,5°										
Вспашка	0,21	5,43	0,05	1,90	0,29	18	11,4	7,6	570	589,0
Плоскорезная обработка	0,33	5,85	0,10	2,09	0,48	30	12,5	8,4	627	648,9
Дискование	0,44	6,21	0,18	2,28	0,67	42	13,7	9,1	684	706,8
Уклон 3,6–5,0°										
Вспашка	0,58	6,97	0,17	2,57	0,96	60	15,4	10,3	771	796,7
Плоскорезная обработка	0,64	7,23	0,21	2,69	1,08	67	16,1	10,8	807	834
Дискование	0,82	7,91	0,30	3,01	1,40	87	18,1	12,0	903	933,1

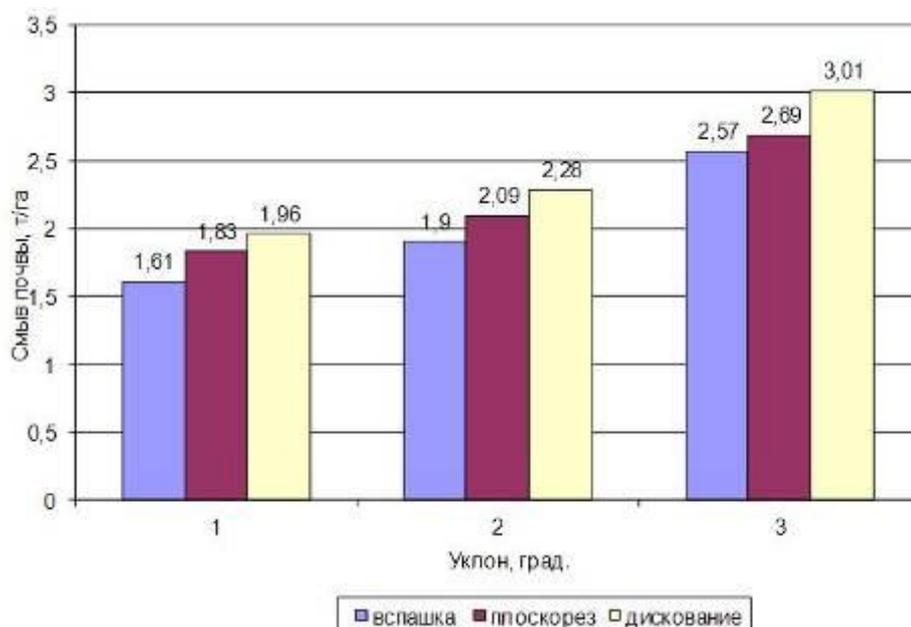


Рисунок 57 – Масса смытой почвы талыми водами при различных способах обработки почвы, 2002–2004 гг.

На пологих склонах (уклон 0,5–2,0°) смыв почвы на вариантах поверхностных способов обработки почвы (плоскорезная обработка и дискование) повышается по сравнению со вспашкой (контроль) соответственно на 14 и 22 %.

С увеличением уклона масса смытой почвы увеличивается на всех вариантах, но наибольшей величины – 1,4 т/га достигает на варианте три – дискование при уклонах 3,6–5,0°, что больше чем на контроле (вариант один) в 1,9 раза. Выносятся и большое количество азота, фосфора и калия до 1 кг/га.

Данные, полученные при проведении исследований в следующем опыте, показывают, что масса смытой почвы зависит также от вида возделываемых растений и почвенной разности. Посевы многолетних травосмесей оказались наиболее устойчивыми к водной эрозии по сравнению с зябью и даже целиной (пастбище). Если на участках с травосмесью и целиной масса смытой почвы не превышает на всех типах почвы 0,8 т/га, то по зяби эти показатели возросли от 1,39 т/га на луговых солончаковых почвах до 3,32 т/га на черноземах сильносолонцеватых, т. е. в 4 раза (таблица 54).

Таблица 54 – Масса смытой почвы талыми водами при разных способах использования полей и почвенных разностях, уклон 0,5–3°

Вариант опыта	Масса смытой почвы по годам, т/га			Среднее, т/га
	2002	2003	2004	
Черноземы обыкновенные, каменисто-щебенчатые				
Травосмесь, многолетние травы	0,29	0,42	0,12	0,28
Зябрь	2,97	4,25	1,27	2,83
Целина	0,65	0,93	0,28	0,62
Лугово-черноземные почвы				
Травосмесь, многолетние травы	0,49	0,71	0,21	0,47
Зябрь	2,85	4,07	1,22	2,71
Целина	0,79	1,13	0,34	0,75
Луговые солончаковые почвы				
Травосмесь, многолетние травы	0,56	0,79	0,24	0,53
Зябрь	1,46	2,09	0,63	1,39
Целина	0,32	0,45	0,14	0,30
Аллювиальные луговые, солончаковые почвы				
Травосмесь, многолетние травы	0,37	0,53	0,16	0,35
Зябрь	2,08	2,97	0,89	1,98
Целина	0,43	0,62	0,18	0,41
Черноземы сильносолонцеватые, солонцы черноземные				
Травосмесь, многолетние травы	0,82	1,17	0,35	0,78
Зябрь	3,49	4,98	1,49	3,32
Целина	0,68	0,98	0,29	0,65
Черноземы обыкновенные слабосолонцеватые				
Травосмесь, многолетние травы	0,19	0,29	0,09	0,19
Зябрь	2,78	3,98	1,19	2,65
Целина	0,61	0,87	0,26	0,58

Сами травосмеси на разных почвах также оказали влияние на величину смытой почвы. Наименьшая масса смытой почвы по вариантам была: на варианте один – на черноземах обыкновенных слабосолонцеватых 0,19 т/га; на варианте два – на луговых солончаковых и аллювиальных почвах 0,21–0,27 и наименьшей – 0,14 т/га была на варианте три на луговых черноземных почвах (южная экспозиция).

Все приведенные выше данные научных исследований влияния талых вод на величину поверхностного стока, а также зависимости и уравнения будут использованы при составлении алгоритма и разработки автоматизированного программного комплекса расчета ущерба от поверхностного стока.

5.4 Поверхностный сток ливневых вод с рыхлой и уплотненной пашни в зависимости от типа почвы, уклона поверхности, водно-физических свойств почвы, выращиваемых культур

Для разработки эффективных компенсационных мероприятий по снижению поверхностного стока и компенсационных коэффициентов, которые планируется использовать при расчете стока и его качественного состава, нами проводились исследования по изучению наиболее значимых факторов на величину стока.

Анализ литературных данных и результатов полевых исследований, проведенных непосредственно авторами монографии, показал, что на величину стока

оказывают наибольшее влияние уклон поверхности почвы, водопроницаемость почвы, интенсивность осадков, плотность сложения почвы, степень проективного покрытия поверхности почвы растениями и другие факторы.

Полевые исследования показали, что более высокие показатели стока дождевых вод наблюдаются по чистому пару, вспаханному в прошлом году. За осенне-зимний период почва уплотняется, поэтому в следующем году на парах складываются наиболее благоприятные условия для образования стока на всех типах почвы.

Вместе с тем, если посеяны какие-либо культурные растения, то они способны задержать осадки и снизить сток. Этот показатель зависит от степени проективного покрытия поверхности почвы посевами растений. Зная задерживающую способность растений в различных фазах роста, можно определить возможное снижение стока. Величина возможного снижения стока характеризуется коэффициентом проективного покрытия.

Опыты по определению влияния ливневых осадков на величину поверхностного стока проводились экспедиционными поездками мобильных групп в составе ученых РосНИИПМ, МГУ, ВНИИГиМ, СтавГАУ. Исследования выполнялись на шести типах почв на семи стационарных участках.

Для создания искусственного дождя нужной интенсивности и продолжительности в РосНИИПМ сконструировано несколько устройств искусственного дождя. Вода подавалась на установку мотопомпой на расстояние до 500 м от водных источников. С каждой позиции мотопомпой проводилось четыре варианта опыта. Четыре стоковые площадки и установки искусственного дождя устраивались (устанавливались) на удалении друг от друга на 200–300 м с таким расчетом, чтобы уклоны поверхности почвы изменялись в широких пределах.

5.4.1 Поверхностный сток ливневых вод с рыхлой и уплотненной пашни в зависимости от типа почвы, уклона поверхности почвы и водно-физических свойств почвы

Исследования позволили установить, что величина стока на парах в большинстве случаев зависит от уклона, интенсивности и продолжительности осадков и водопроницаемости почвы. Эти данные позволили получить и уточнить поправочные коэффициенты для расчета возможного ущерба от поверхностного стока и назначения компенсационных мероприятий, поэтому авторы приводят результаты исследований в виде таблиц и рисунков, несущих наглядную информацию (таблицы 55–78, рисунки 58–93). На рисунках приводятся графики изменения показателей стока, зависимости и уравнения, а также для подтверждения достоверности полученных данных приводятся коэффициенты детерминации.

Таблица 55 – Влияние уклона поверхности почвы на коэффициент стока, п. Степной, чернозем обыкновенный, пар, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока $K_{ст}$
1	2	3	4
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пар	1.1	1,08	0
	1.2	2,09	0,16
	1.3	1,70	0,12
	1.4	2,00	0,15
	2.1	0,40	0
	2.2	3,10	0,24

Продолжение таблицы 55

1	2	3	4
	2.3	4,20	0,41
	2.4	3,80	0,35
	3.1	0,67	0,05
	3.2	5,40	0,65
	3.3	6,80	0,62
	3.4	5,90	0,53
	4.1	1,15	0
	4.2	7,50	0,65
	4.3	7,70	0,81
	4.4	8,20	0,79

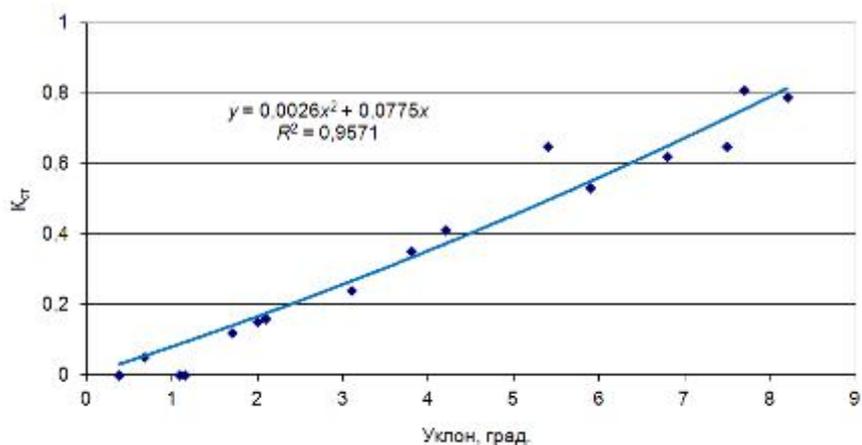


Рисунок 58 – Влияние уклона поверхности почвы на величину стока, п. Степной, чернозем обыкновенный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 56 – Влияние интенсивности осадков на коэффициент стока, п. Степной, чернозем обыкновенный, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пар	1.1	0,43	0
	1.2	1,06	0,16
	1.3	0,83	0,12
	1.4	0,85	0,08
	2.1	0,31	0
	2.2	1,12	0,24
	2.3	1,23	0,41
	2.4	1,35	0,35
	3.1	0,72	0,05
	3.2	1,37	0,65
	3.3	1,60	0,62
	3.4	1,50	0,53
	4.1	0,35	0
	4.2	1,40	0,65
	4.3	1,77	0,81
	4.4	1,38	0,79

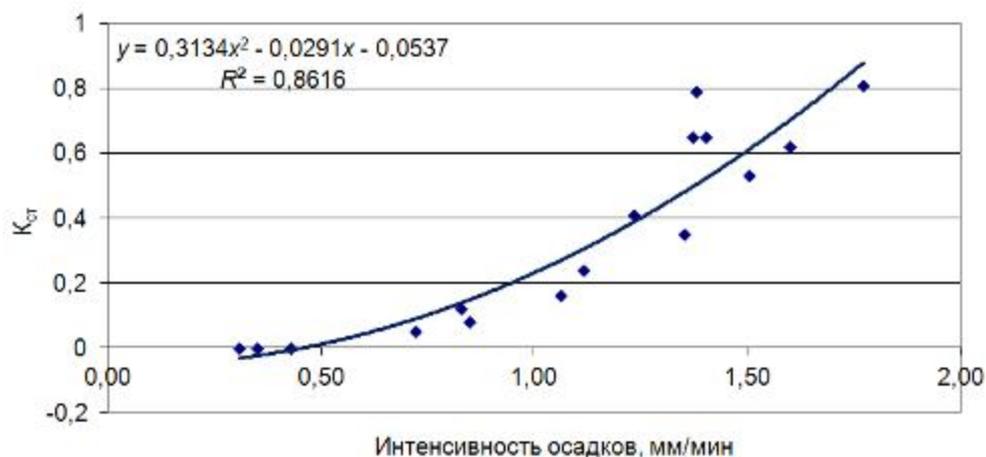


Рисунок 59 – Влияние интенсивности осадков на величину стока, п. Степной, чернозем обыкновенный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 57 – Влияние водопроницаемости почвы на коэффициент стока, п. Степной, чернозем обыкновенный, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пар	1.1	2,03	0
	1.2	1,36	0,16
	1.3	1,51	0,12
	1.4	1,59	0,15
	2.1	2,15	0
	2.2	1,45	0,24
	2.3	1,27	0,41
	2.4	1,28	0,35
	3.1	2,19	0,05
	3.2	1,00	0,65
	3.3	1,29	0,62
	3.4	1,38	0,53
	4.1	2,10	0
	4.2	1,24	0,65
	4.3	1,23	0,81
	4.4	1,20	0,79

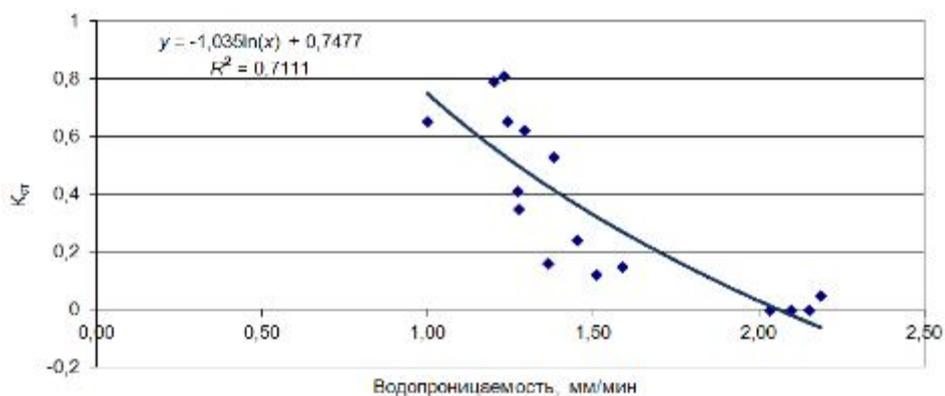


Рисунок 60 – Влияние водопроницаемости почвы на величину стока, п. Степной, чернозем обыкновенный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 58 – Данные для получения зависимости коэффициента стока от уклона, водопроницаемости почвы и интенсивности осадков, п. Степной, чернозем обыкновенный, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пар	1.1	1,08	2,03	0,43	0
	1.2	2,09	1,36	1,06	0,16
	1.3	1,70	1,51	0,83	0,12
	1.4	2,00	1,59	0,85	0,15
	2.1	0,40	2,15	0,31	0
	2.2	3,10	1,45	1,12	0,24
	2.3	4,20	1,27	1,23	0,41
	2.4	3,80	1,28	1,35	0,35
	3.1	0,67	2,19	0,72	0,05
	3.2	5,40	1,00	1,37	0,65
	3.3	6,80	1,29	1,60	0,62
	3.4	5,90	1,38	1,50	0,53
	4.1	1,15	2,10	0,35	0
	4.2	7,50	1,24	1,40	0,65
	4.3	7,70	1,23	1,77	0,81
	4.4	8,20	1,20	1,38	0,79

$$K_{ст} = -3,97 + 2,5 \cdot x + 4,14 \cdot y - 0,32 \cdot x^2 - 1,68 \cdot x \cdot y - 0,47 \cdot y^2$$

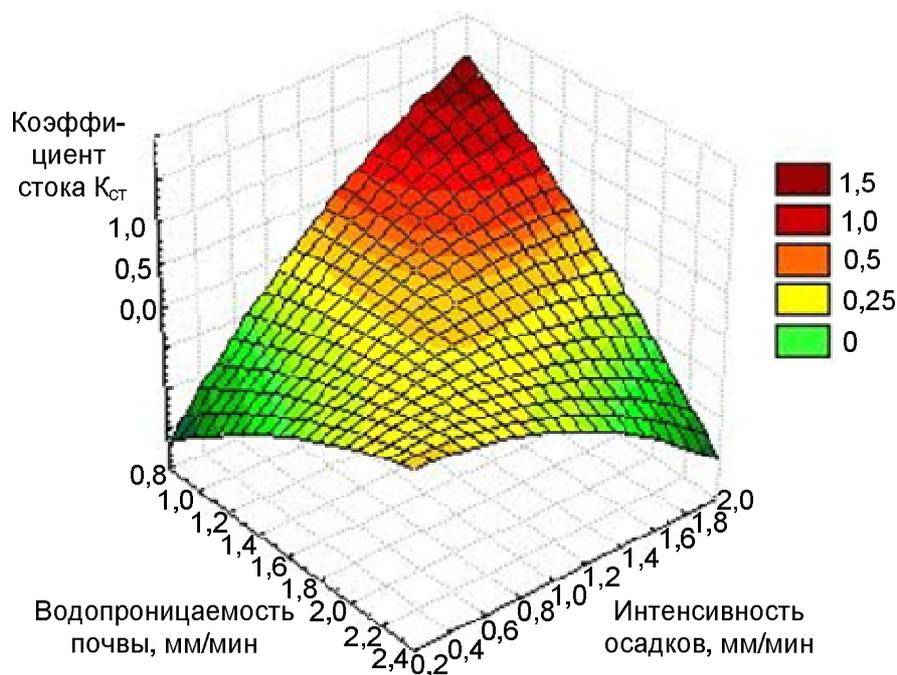


Рисунок 61 – Влияние водопроницаемости почвы и интенсивности осадков на величину стока, п. Степной, чернозем обыкновенный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = -1,85 + 0,25 \cdot x + 0,12 \cdot y - 0,0033 \cdot x^2 - 0,104 \cdot x \cdot y - 0,13 \cdot y^2$$

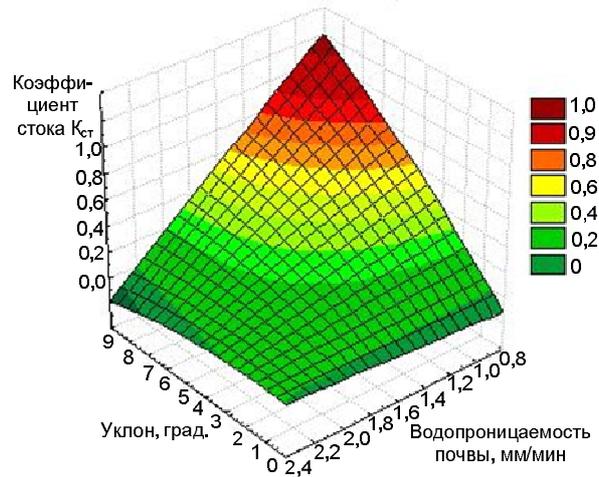


Рисунок 62 – Влияние уклона и водопроницаемости почвы на величину стока, п. Степной, чернозем обыкновенный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = -0,152 + 0,03 \cdot x + 0,39 \cdot y - 0,006 \cdot x^2 + 0,098 \cdot x \cdot y - 0,31 \cdot y^2$$

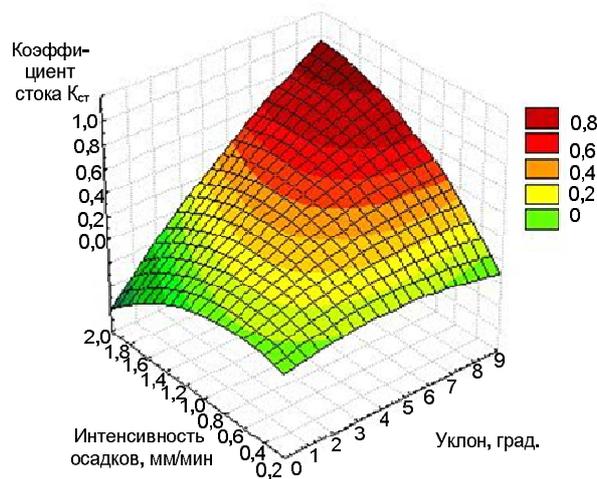


Рисунок 63 – Влияние уклона и интенсивности осадков на величину стока, п. Степной, чернозем обыкновенный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 59 – Влияние уклона поверхности почвы на коэффициент стока, п. Дубовка, светло-каштановые почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока $K_{ст}$
1	2	3	4
п. Дубовка, Волгоградская область Светло-каштановые Пар	1.1	0,87	0,04
	1.2	1,80	0,20
	1.3	2,10	0,15
	1.4	2,50	0,21
	2.1	1,23	0,06
	2.2	3,60	0,35

Продолжение таблицы 59

1	2	3	4
	2.3	3,20	0,22
	2.4	4,10	0,44
	3.1	1,07	0,07
	3.2	5,40	0,45
	3.3	6,10	0,74
	3.4	6,70	0,61
	4.1	0,86	0,10
	4.2	7,40	0,88
	4.3	7,70	0,84
	4.4	8,10	0,76

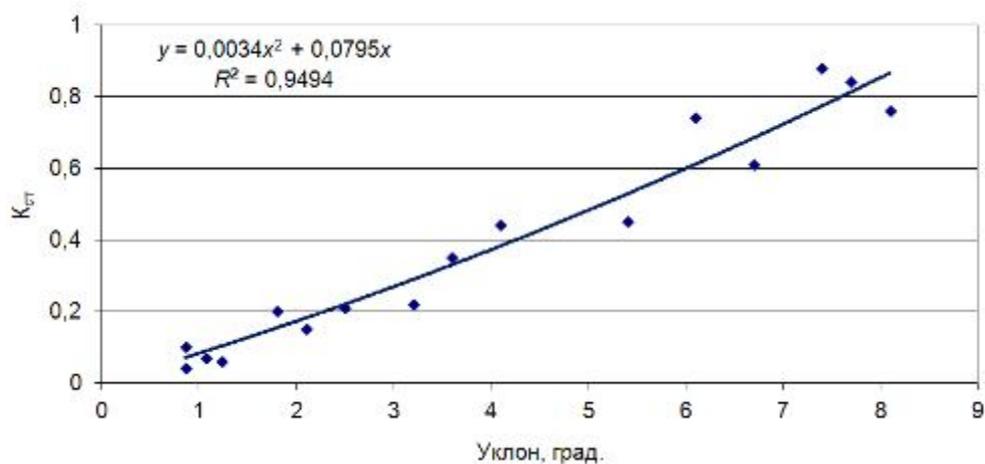


Рисунок 64 – Влияние уклона поверхности почвы на величину стока, п. Дубовка, светло-каштановые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 60 – Влияние интенсивности осадков почвы на коэффициент стока, п. Дубовка, светло-каштановые почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Дубовка, Волгоградская область Светло-каштановые Пар	1.1	0,38	0,04
	1.2	1,01	0,20
	1.3	1,26	0,15
	1.4	1,53	0,21
	2.1	0,58	0,06
	2.2	1,90	0,35
	2.3	1,15	0,22
	2.4	1,36	0,44
	3.1	0,55	0,07
	3.2	1,42	0,45
	3.3	1,37	0,74
	3.4	1,67	0,61
	4.1	0,42	0,10
	4.2	1,55	0,88
	4.3	1,70	0,84
	4.4	1,34	0,76

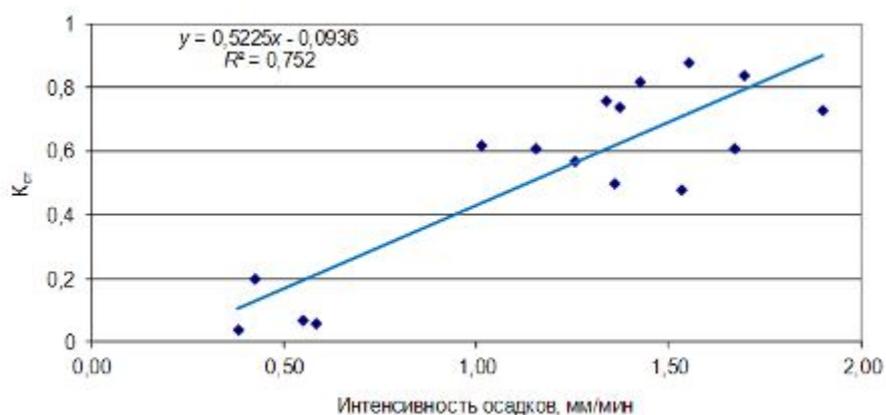


Рисунок 65 – Влияние интенсивности осадков на величину стока, п. Дубовка, светло-каштановые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 61 – Влияние водопроницаемости почвы на коэффициент стока, п. Дубовка, светло-каштановые почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Дубовка, Волгоградская область Светло-каштановые Пар	1.1	1,88	0,04
	1.2	1,11	0,20
	1.3	1,10	0,15
	1.4	1,55	0,21
	2.1	1,89	0,06
	2.2	0,83	0,35
	2.3	0,84	0,22
	2.4	1,06	0,44
	3.1	1,83	0,07
	3.2	0,92	0,45
	3.3	0,89	0,74
	3.4	0,99	0,61
	4.1	1,90	0,10
	4.2	0,84	0,88
	4.3	1,04	0,84
	4.4	0,91	0,76

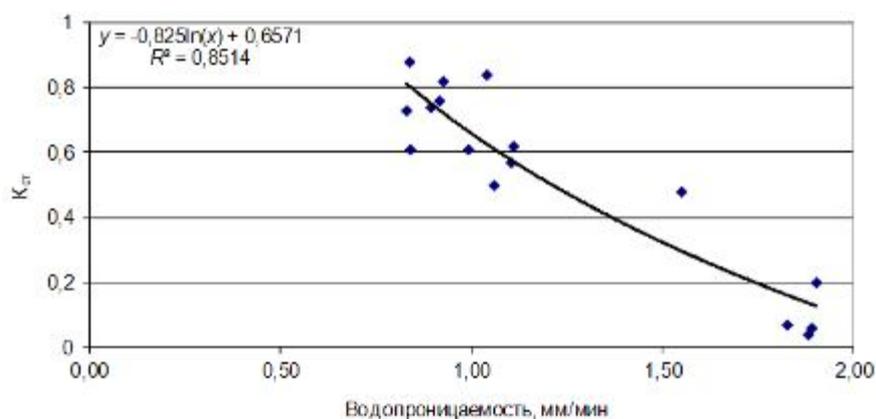


Рисунок 66 – Влияние водопроницаемости почвы на величину стока, п. Дубовка, светло-каштановые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 62 – Данные для получения зависимости коэффициента стока от уклона, водопроницаемости почвы и интенсивности осадков, п. Дубовка, светло-каштановые почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Дубовка, Волгоградская область Светло-каштановые Пары	1.1	0,87	1,88	0,38	0,04
	1.2	1,80	1,11	1,01	0,20
	1.3	2,10	1,10	1,26	0,15
	1.4	2,50	1,55	1,53	0,21
	2.1	1,23	1,89	0,58	0,06
	2.2	3,60	0,83	1,90	0,35
	2.3	3,20	0,84	1,15	0,22
	2.4	4,10	1,06	1,36	0,44
	3.1	1,07	1,83	0,55	0,07
	3.2	5,40	0,92	1,42	0,45
	3.3	6,10	0,89	1,37	0,74
	3.4	6,70	0,99	1,67	0,61
	4.1	0,86	1,90	0,42	0,10
	4.2	7,40	0,84	1,55	0,88
	4.3	7,70	1,04	1,70	0,84
	4.4	8,10	0,91	1,34	0,76

$$K_{ст} = -5,8 + 2,53 \cdot x + 6,06 \cdot y - 0,14 \cdot x^2 - 1,88 \cdot x \cdot y - 1,3 \cdot y^2$$

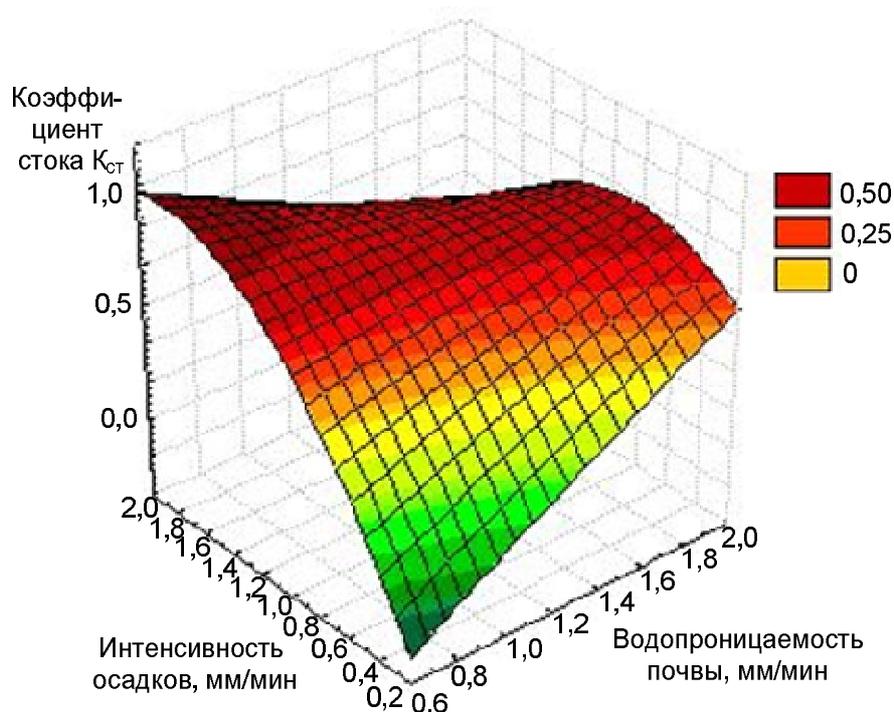


Рисунок 67 – Влияние водопроницаемости почвы и интенсивности осадков на величину стока, п. Дубовка, светло-каштановые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = -1,15 + 0,28 \cdot x + 1,48 \cdot y - 0,003 \cdot x^2 - 0,137 \cdot x \cdot y - 0,45 \cdot y^2$$

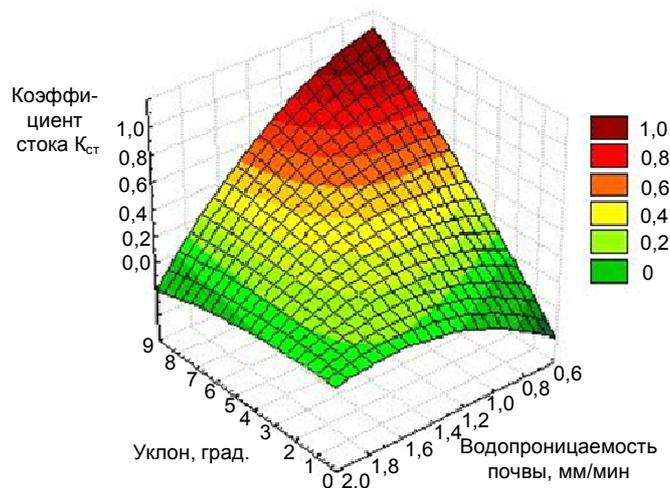


Рисунок 68 – Влияние уклона и водопроницаемости почвы на величину стока, п. Дубовка, светло-каштановые, обработка почвы или культура – пар, 2007 г.

$$K_{ст} = -0,016 + 0,064 \cdot x + 0,035 \cdot y - 0,0005 \cdot x^2 + 0,037 \cdot x \cdot y - 0,054 \cdot y^2$$

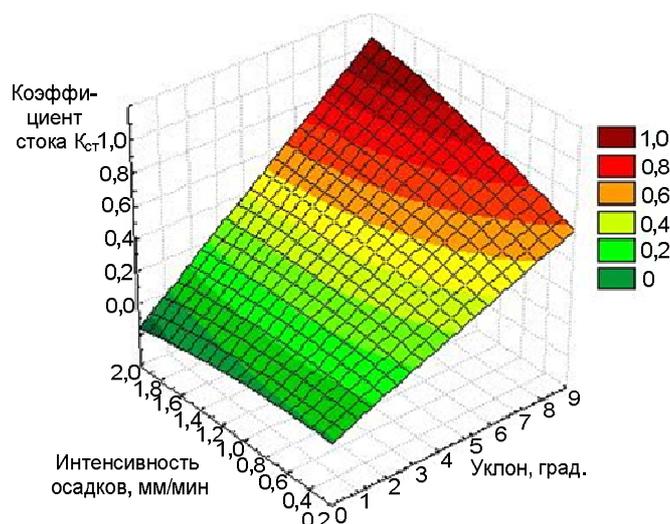


Рисунок 69 – Влияние уклона и интенсивности осадков на величину стока, п. Дубовка, светло-каштановые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 63 – Влияние уклона поверхности почвы на коэффициент стока, п. Чуркино, дерново-подзолистая почва, пар, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока $K_{ст}$
1	2	3	4
п. Чуркино, Нижегородская область Дерново-подзолистая Пар	1.1	0,97	0
	1.2	4,51	0,24
	1.3	1,40	0,12
	1.4	3,25	0,16
	2.1	1,04	0,05

Продолжение таблицы 63

1	2	3	4
	2.2	5,08	0,35
	2.3	5,41	0,33
	2.4	5,98	0,42
	3.1	0,83	0,04
	3.2	8,81	0,66
	3.3	7,83	0,64
	3.4	6,80	0,58
	4.1	1,37	0,07
	4.2	8,63	0,77
	4.3	7,60	0,73
	4.4	8,30	0,66

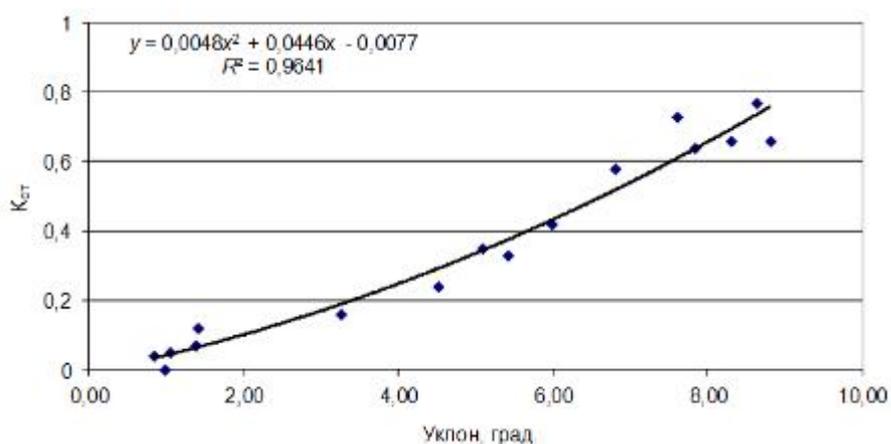


Рисунок 70 – Влияние уклона поверхности почвы на величину стока, п. Чуркино, дерново-подзолистые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 64 – Влияние интенсивности осадков почвы на коэффициент стока, п. Чуркино, дерново-подзолистые почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Чуркино, Нижегородская область Дерново-подзолистая Пар	1.1	0,50	0
	1.2	1,15	0,24
	1.3	0,98	0,12
	1.4	1,07	0,16
	2.1	0,82	0,05
	2.2	1,45	0,35
	2.3	1,36	0,33
	2.4	1,27	0,42
	3.1	0,58	0,04
	3.2	1,68	0,66
	3.3	1,43	0,64
	3.4	1,31	0,58
	4.1	0,44	0,07
	4.2	1,57	0,77
	4.3	1,41	0,73
	4.4	1,73	0,66

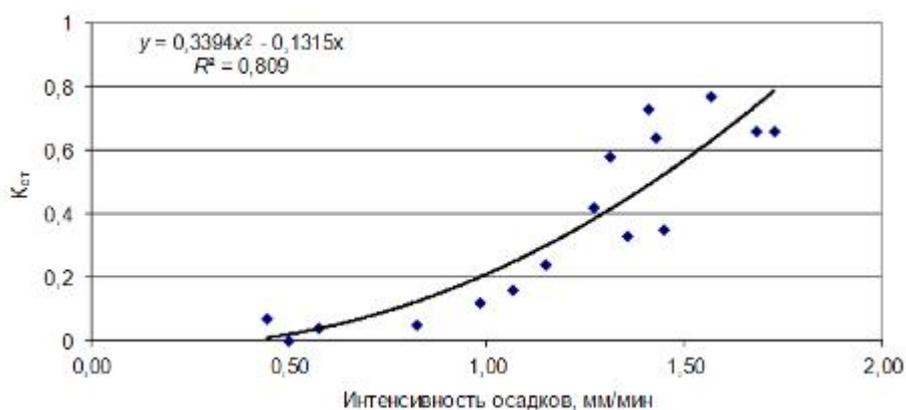


Рисунок 71 – Влияние интенсивности осадков на величину стока, п. Чуркино, дерново-подзолистые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 65 – Влияние водопроницаемости почвы на коэффициент стока, п. Чуркино, дерново-подзолистые почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Чуркино, Нижегородская область Дерново-подзолистая Пар	1.1	2,02	0
	1.2	1,21	0,24
	1.3	1,43	0,12
	1.4	1,20	0,16
	2.1	1,69	0,05
	2.2	1,13	0,35
	2.3	1,25	0,33
	2.4	0,96	0,42
	3.1	2,20	0,04
	3.2	0,99	0,66
	3.3	0,94	0,64
	3.4	0,99	0,58
	4.1	1,80	0,07
	4.2	0,94	0,77
	4.3	0,73	0,73
	4.4	1,12	0,66

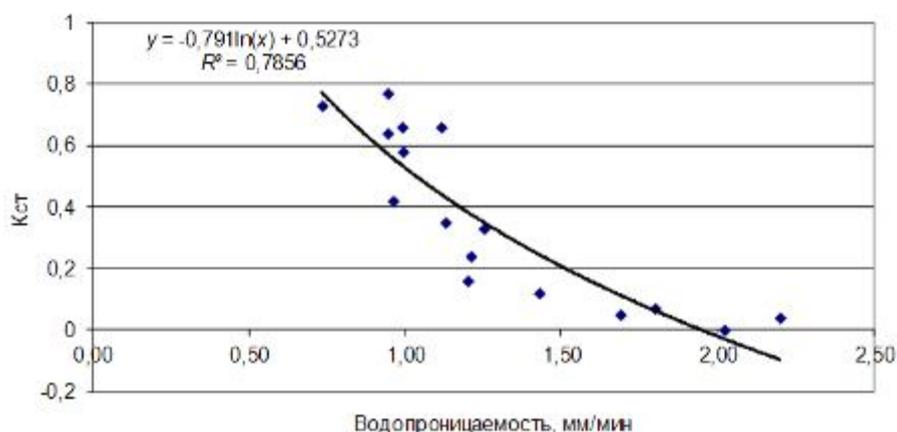


Рисунок 72 – Влияние водопроницаемости почвы на величину стока, п. Чуркино, дерново-подзолистые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 66 – Данные для получения зависимости коэффициента стока от уклона, водопроницаемости почвы и интенсивности осадков, п. Чуркино, дерново-подзолистые почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Чуркино, Нижегородская область Дерново-подзолистая Пар	1.1	0,97	2,02	0,50	0
	1.2	4,51	1,21	1,15	0,24
	1.3	1,40	1,43	0,98	0,12
	1.4	3,25	1,20	1,07	0,16
	2.1	1,04	1,69	0,82	0,05
	2.2	5,08	1,13	1,45	0,35
	2.3	5,41	1,25	1,36	0,33
	2.4	5,98	0,96	1,27	0,42
	3.1	0,83	2,20	0,58	0,04
	3.2	8,81	0,99	1,68	0,66
	3.3	7,83	0,94	1,43	0,64
	3.4	6,80	0,99	1,31	0,58
	4.1	1,37	1,80	0,44	0,07
	4.2	8,63	0,94	1,57	0,77
	4.3	7,60	0,73	1,41	0,73
	4.4	8,30	1,12	1,73	0,66

$$K_{ст} = -0,77 + 0,47 \cdot x + 1,4 \cdot y + 0,02 \cdot x^2 - 0,92 \cdot x \cdot y + 0,06 \cdot y^2$$

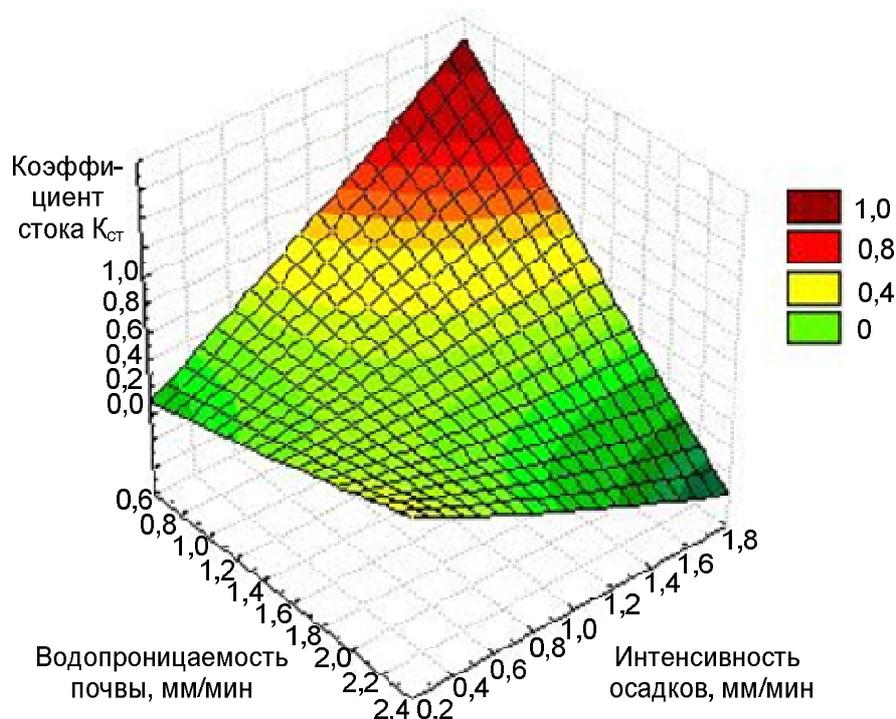


Рисунок 73 – Влияние водопроницаемости почвы и интенсивности осадков на величину стока, п. Чуркино, дерново-подзолистые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = 0,78 + 0,092 \cdot x - 0,019 \cdot y + 0,0042 \cdot x^2 - 0,053 \cdot x \cdot y + 0,0012 \cdot y^2$$

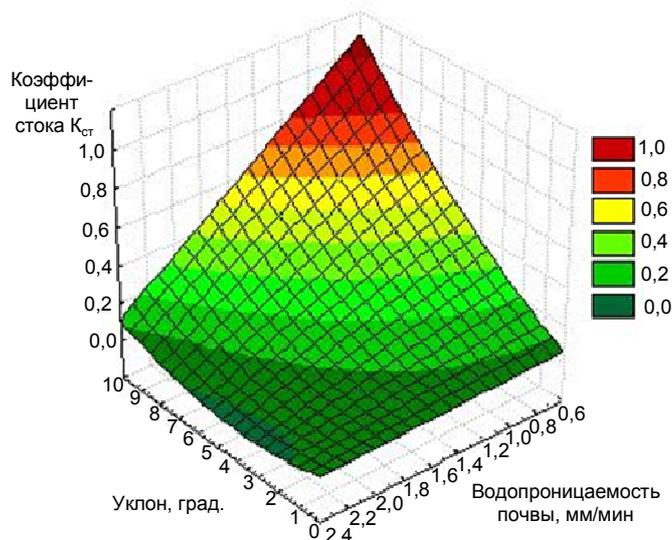


Рисунок 74 – Влияние уклона и водопроницаемости на величину стока, п. Чуркино, дерново-подзолистые, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = 0,136 + 0,22 \cdot x - 0,9 \cdot y + 0,0033 \cdot x^2 - 0,36 \cdot x \cdot y + 1,04 \cdot y^2$$

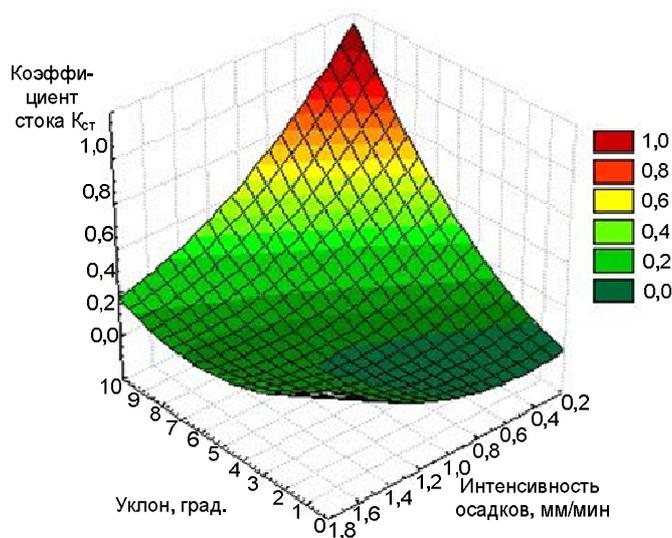


Рисунок 75 – Влияние уклона и интенсивности осадков на величину стока, п. Чуркино, тип почвы – дерново-подзолистые, обработка почвы или культура, пар, 2007 год

Таблица 67 – Влияние уклона поверхности почвы на коэффициент стока, п. Джангир, бурые полупустынные почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока $K_{ст}$
1	2	3	4
п. Джангир, Республика Калмыкия Бурые полупустынные Пар	1.1	0,66	0
	1.2	2,82	0,34
	1.3	3,49	0,23
	1.4	4,10	0,32

Продолжение таблицы 67

1	2	3	4
	2.1	1,41	0,12
	2.2	7,20	0,73
	2.3	5,50	0,59
	2.4	6,56	0,65
	3.1	0,84	0,10
	3.2	7,02	0,83
	3.3	6,40	0,77
	3.4	7,00	0,72
	4.1	2,79	0,20
	4.2	7,30	0,86
	4.3	7,50	0,88
	4.4	8,00	0,97

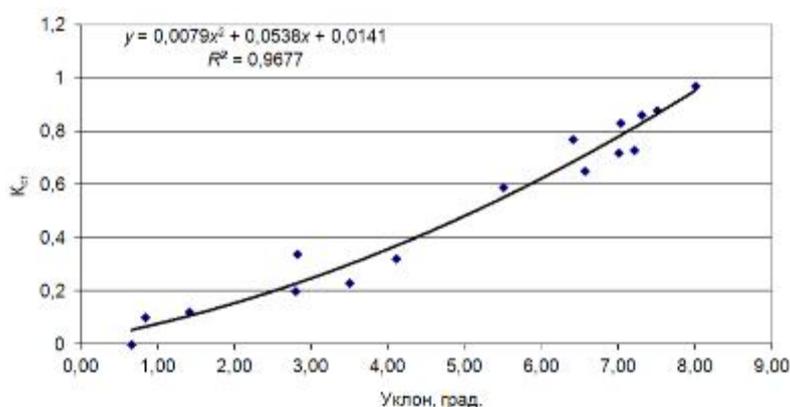


Рисунок 76 – Влияние уклона поверхности почвы на величину стока, п. Джангир, бурые полупустынные, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 68 – Влияние интенсивности осадков почвы на коэффициент стока, п. Джангир, бурые полупустынные, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Джангир, Республика Калмыкия Бурые полупустынные Пар	1.1	0,50	0
	1.2	1,26	0,34
	1.3	0,94	0,23
	1.4	1,35	0,32
	2.1	0,61	0,12
	2.2	1,26	0,73
	2.3	1,52	0,59
	2.4	1,76	0,65
	3.1	0,40	0,10
	3.2	1,63	0,83
	3.3	1,42	0,77
	3.4	1,71	0,72
	4.1	0,33	0,20
	4.2	1,57	0,86
	4.3	1,80	0,88
	4.4	1,69	0,97

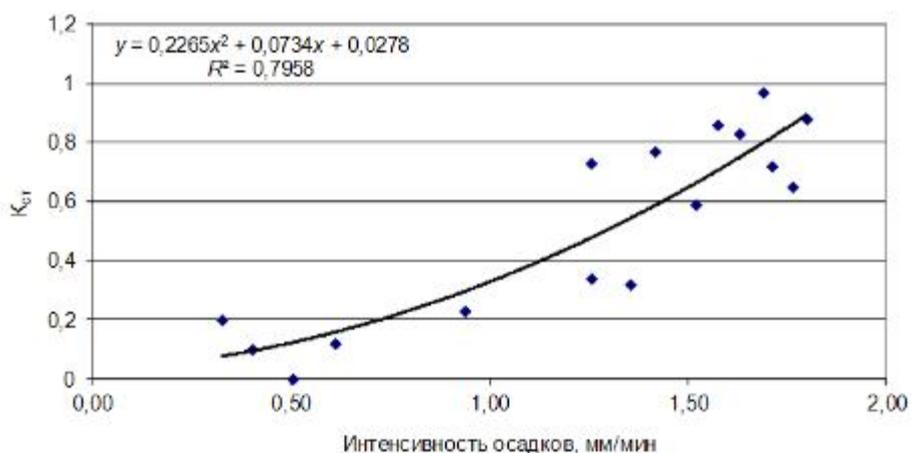


Рисунок 77 – Влияние интенсивности осадков на величину стока, п. Джангир, бурые полупустынные, обработка почвы или культура – пар, 2007 г.

Таблица 69 – Влияние водопроницаемости почвы на коэффициент стока, п. Джангир, бурые полупустынные почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Джангир, Республика Калмыкия Бурые полупустынные Пар	1.1	2,14	0
	1.2	1,57	0,34
	1.3	1,08	0,23
	1.4	1,29	0,32
	2.1	2,02	0,12
	2.2	1,04	0,73
	2.3	1,14	0,59
	2.4	1,29	0,65
	3.1	1,96	0,10
	3.2	1,19	0,83
	3.3	0,94	0,77
	3.4	1,17	0,72
	4.1	2,16	0,20
	4.2	1,15	0,86
	4.3	1,06	0,88
	4.4	0,79	0,97

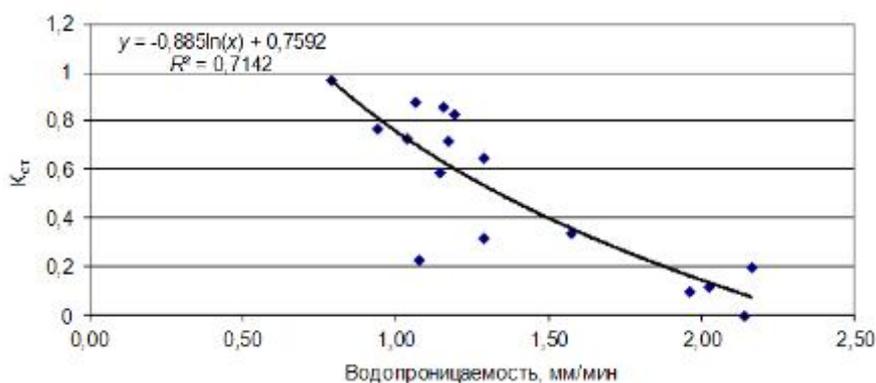


Рисунок 78 – Влияние водопроницаемости почвы на величину стока, п. Джангир, бурые полупустынные, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 70 – Данные для получения зависимости коэффициента стока от уклона, водопроницаемости почвы и интенсивности осадков, п. Джангир, бурые полупустынные почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Джангир, Республика Калмыкия Бурые полупустынные Пар	1.1	0,66	2,14	0,50	0
	1.2	2,82	1,57	1,26	0,34
	1.3	3,49	1,08	0,94	0,23
	1.4	4,10	1,29	1,35	0,32
	2.1	1,41	2,02	0,61	0,12
	2.2	7,20	1,04	1,26	0,73
	2.3	5,50	1,14	1,52	0,59
	2.4	6,56	1,29	1,76	0,65
	3.1	0,84	1,96	0,40	0,10
	3.2	7,02	1,19	1,63	0,83
	3.3	6,40	0,94	1,42	0,77
	3.4	7,00	1,17	1,71	0,72
	4.1	2,79	2,16	0,33	0,20
	4.2	7,30	1,15	1,57	0,86
	4.3	7,50	1,06	1,80	0,88
	4.4	8,00	0,79	1,69	0,97

$$K_{ст} = -2,99 + 2,58 \cdot x + 2,9 \cdot y - 0,52 \cdot x^2 - 1,38 \cdot x \cdot y - 0,26 \cdot y^2$$

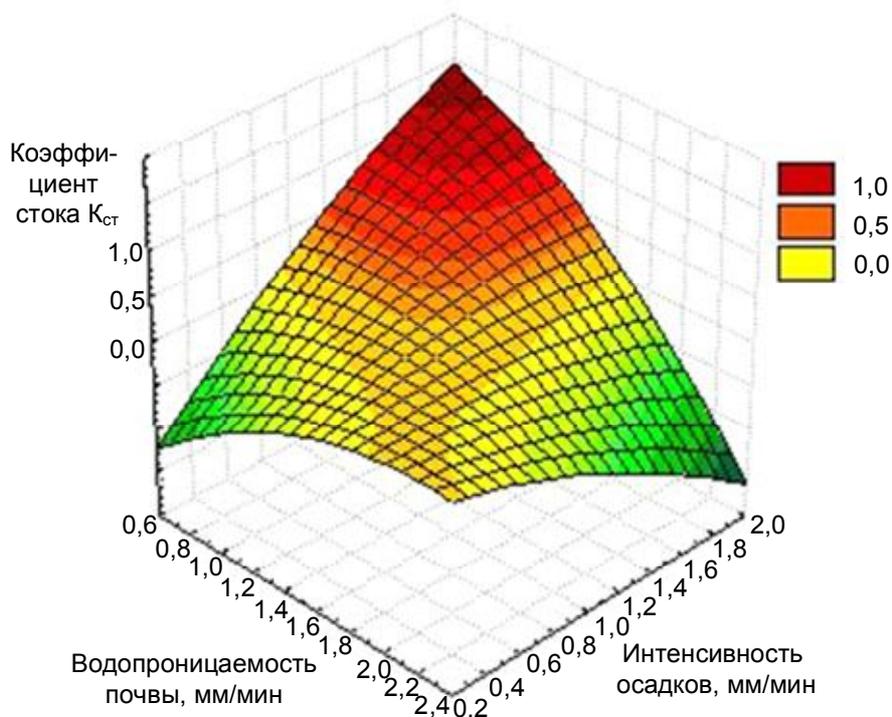


Рисунок 79 – Влияние водопроницаемости почвы и интенсивности осадков на величину стока, п. Джангир, бурые полупустынные, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = -1,87 + 0,4 \cdot x + 1,7 \cdot y - 0,008 \cdot x^2 - 0,14 \cdot x \cdot y - 0,37 \cdot y^2$$

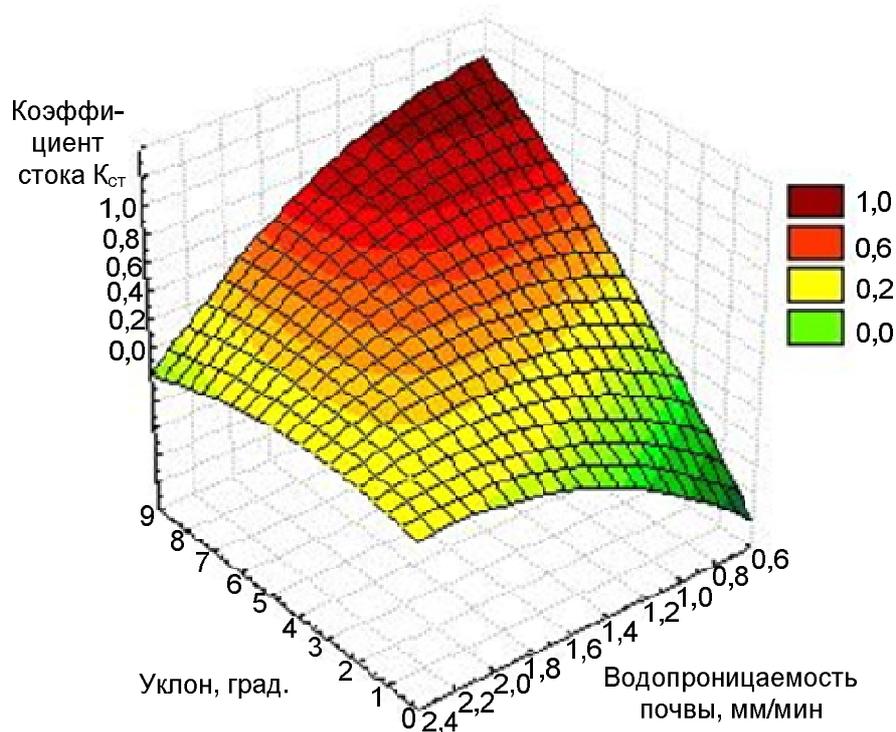


Рисунок 80 – Влияние уклона и водопроницаемости почвы на величину стока, п. Джангир, бурые полупустынные, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = -0,0116 + 0,0315 \cdot x + 0,09 \cdot y + 0,013 \cdot x^2 - 0,028 \cdot x \cdot y + 0,05 \cdot y^2$$

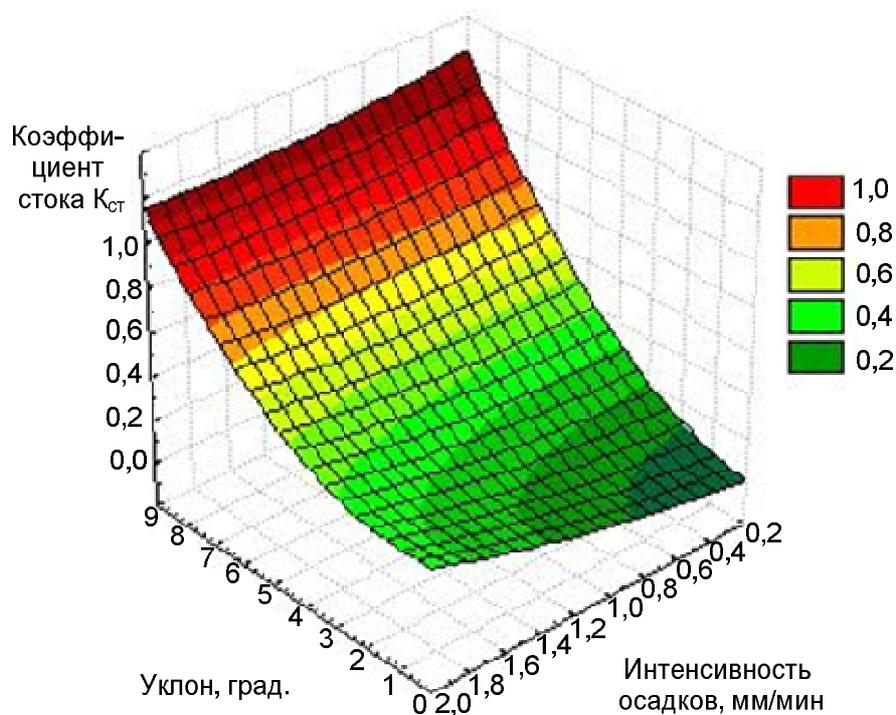


Рисунок 81 – Влияние уклона и интенсивности осадков на величину стока, п. Джангир, бурые полупустынные, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 71 – Влияние уклона поверхности почвы на коэффициент стока, ст. Тацинская, чернозем южный, пар, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока $K_{ст}$
ст. Тацинская, Ростовская область Чернозем южный Пар	1.1	0,80	0
	1.2	6,62	0,44
	1.3	7,70	0,52
	1.4	2,40	0,19
	2.1	1,04	0,05
	2.2	3,10	0,21
	2.3	4,40	0,22
	2.4	3,80	0,22
	3.1	1,18	0
	3.2	5,70	0,35
	3.3	7,30	0,51
	3.4	6,60	0,65
	4.1	1,46	0,08
	4.2	8,40	0,73
	4.3	7,50	0,67
	4.4	6,90	0,64

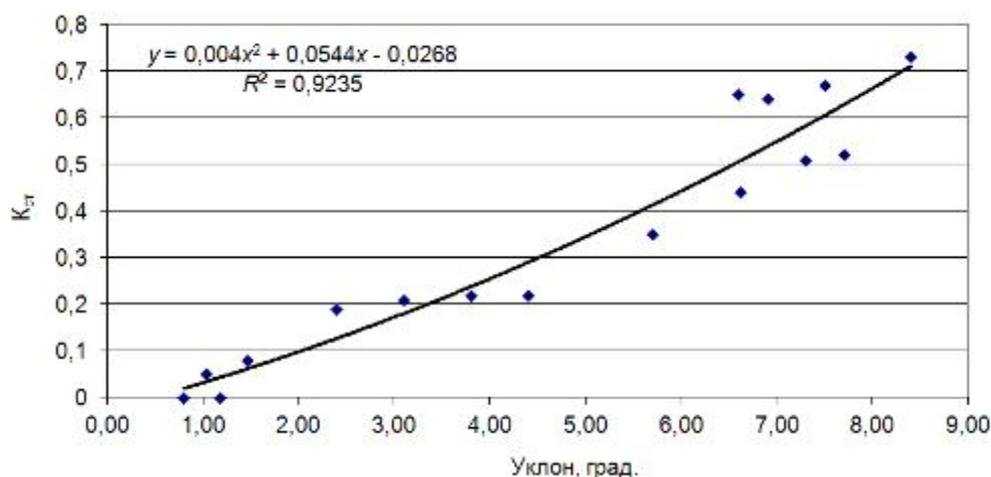


Рисунок 82 – Влияние уклона поверхности почвы на величину стока, ст. Тацинская, чернозем южный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 72 – Влияние интенсивности осадков на коэффициент стока, ст. Тацинская, чернозем южный, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
1	2	3	4
ст. Тацинская, Ростовская область Чернозем южный Пар	1.1	0,44	0
	1.2	1,41	0,44
	1.3	1,84	0,52
	1.4	1,04	0,19
	2.1	0,44	0,05

Продолжение таблицы 72

1	2	3	4
	2.2	1,38	0,21
	2.3	1,30	0,22
	2.4	1,13	0,22
	3.1	0,65	0
	3.2	1,61	0,35
	3.3	1,27	0,51
	3.4	1,82	0,65
	4.1	0,48	0,08
	4.2	1,91	0,73
	4.3	1,74	0,67
	4.4	1,49	0,64

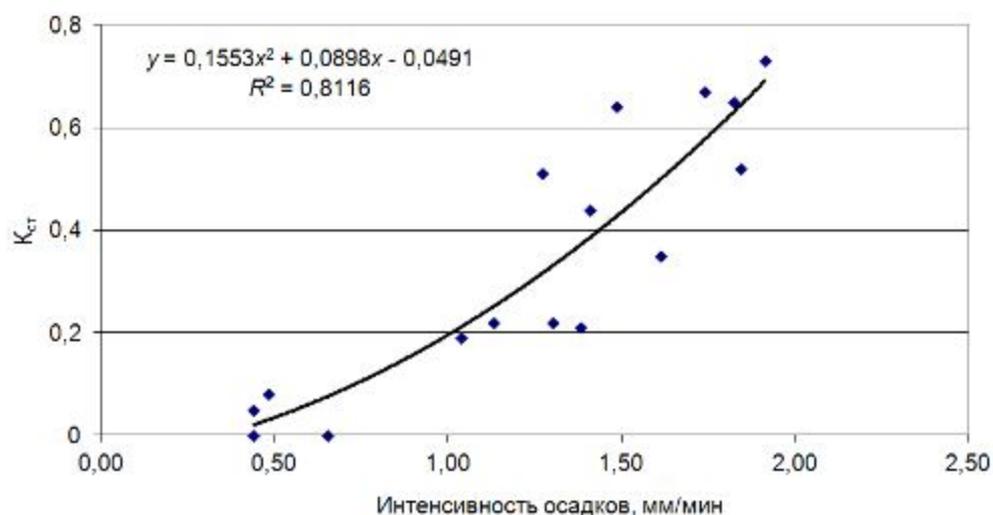


Рисунок 83 – Влияние интенсивности осадков на величину стока, ст. Тацинская, чернозем южный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 73 – Влияние водопроницаемости почвы на коэффициент стока, ст. Тацинская, чернозем южный, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
1	2	3	4
ст. Тацинская, Ростовская область Чернозем южный Пар	1,1	2,35	0
	1,2	1,23	0,44
	1,3	1,25	0,52
	1,4	1,48	0,19
	2,1	2,08	0,05
	2,2	1,74	0,21
	2,3	1,11	0,22
	2,4	1,30	0,22
	3,1	2,20	0
	3,2	1,21	0,35
	3,3	0,95	0,51

Продолжение таблицы 73

1	2	3	4
	3,4	1,26	0,65
	4,1	1,76	0,08
	4,2	1,02	0,73
	4,3	0,88	0,67
	4,4	0,93	0,64

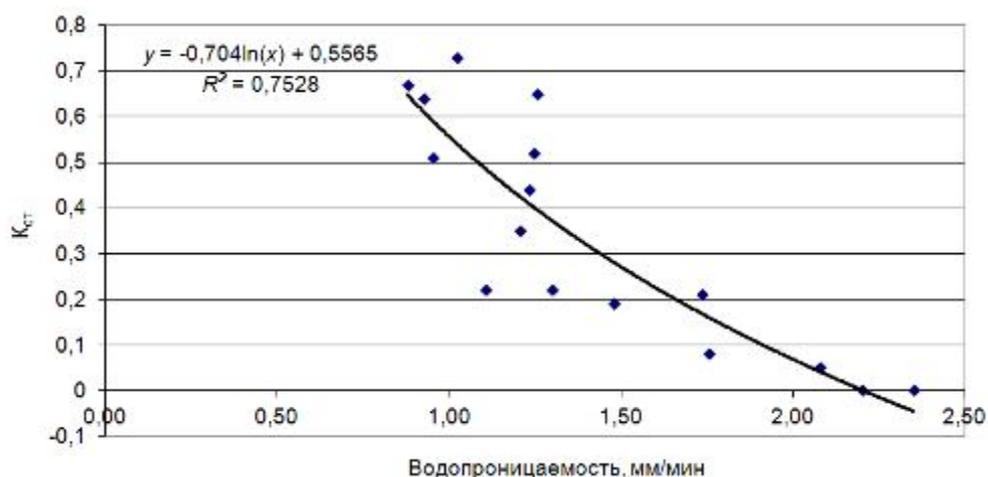


Рисунок 84 – Влияние водопроницаемости почвы на величину стока, ст. Тацинская, чернозем южный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 74 – Данные для получения зависимости коэффициента стока от уклона, водопроницаемости почвы и интенсивности осадков, ст. Тацинская, чернозем южный, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
ст. Тацинская, Ростовская область Чернозем южный Пар	1.1	0,80	2,35	0,44	0
	1.2	6,62	1,23	1,41	0,44
	1.3	7,70	1,25	1,84	0,52
	1.4	2,40	1,48	1,04	0,19
	2.1	1,04	2,08	0,44	0,05
	2.2	3,10	1,74	1,38	0,21
	2.3	4,40	1,11	1,30	0,22
	2.4	3,80	1,30	1,13	0,22
	3.1	1,18	2,20	0,65	0
	3.2	5,70	1,21	1,61	0,35
	3.3	7,30	0,95	1,27	0,51
	3.4	6,60	1,26	1,82	0,65
	4.1	1,46	1,76	0,48	0,08
	4.2	8,40	1,02	1,91	0,73
	4.3	7,50	0,88	1,74	0,67
	4.4	6,90	0,93	1,49	0,64

$$K_{ст} = 2,91 - 2,28 \cdot x - 1,6 \cdot y + 0,47 \cdot x^2 + 0,455 \cdot x \cdot y + 0,498 \cdot y^2$$

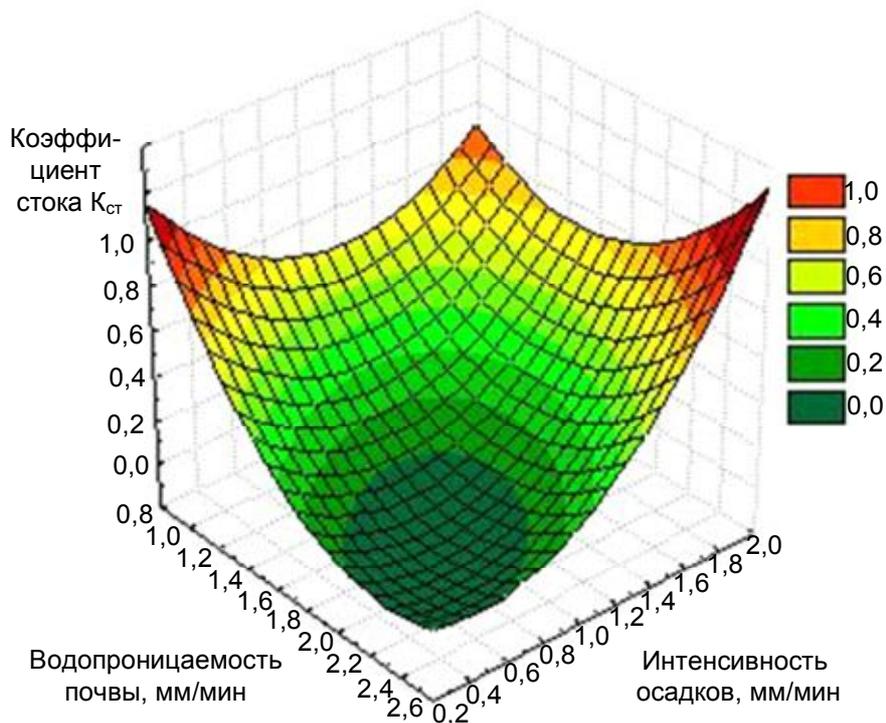


Рисунок 85 – Влияние водопроницаемости почвы и интенсивности осадков на величину стока, ст. Тацинская, чернозем южный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = -2,5 + 0,414 \cdot x + 2,46 \cdot y - 0,008 \cdot x^2 - 1,187 \cdot x \cdot y - 0,59 \cdot y^2$$

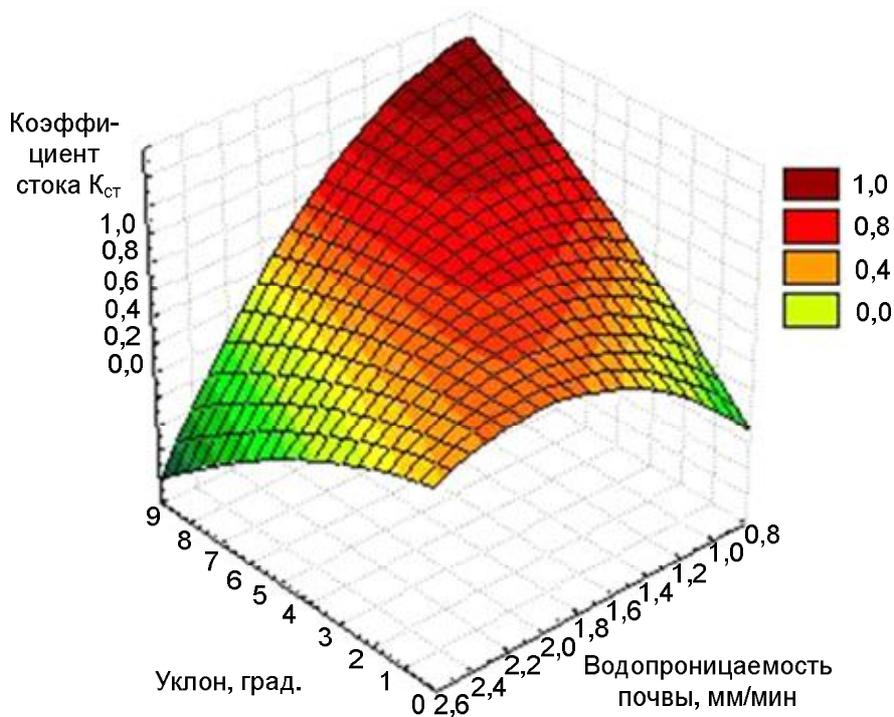


Рисунок 86 – Влияние уклона и водопроницаемости почвы на величину стока, ст. Тацинская, чернозем южный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = 0,04 + 0,07 \cdot x - 0,246 \cdot y + 0,006 \cdot x^2 - 0,04 \cdot x \cdot y + 0,22 \cdot y^2$$

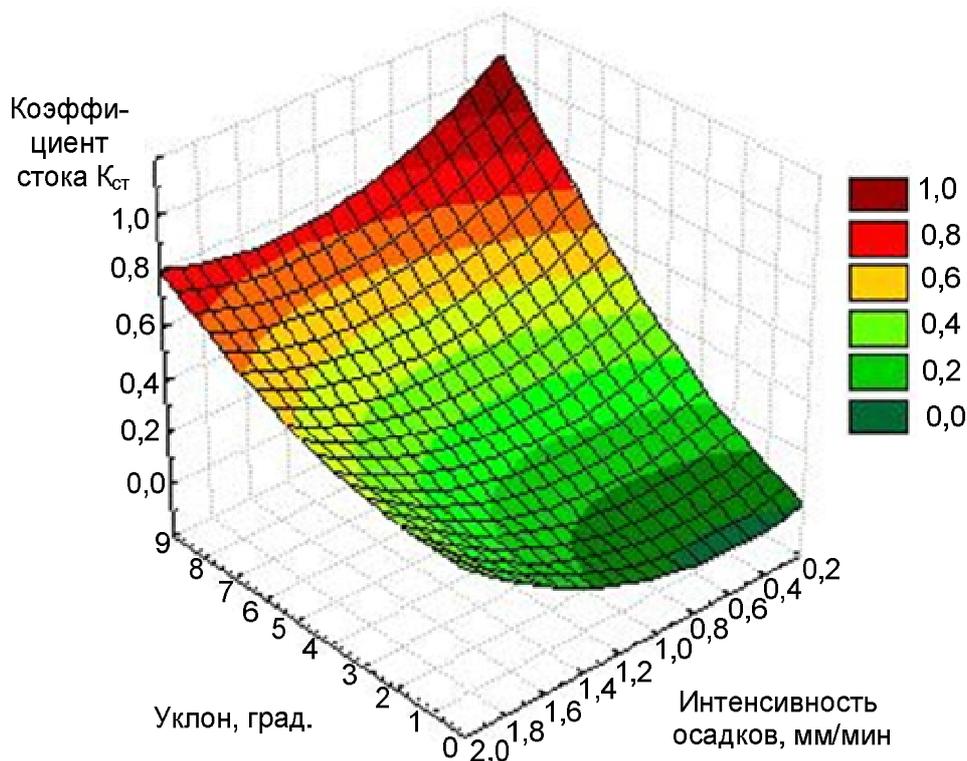


Рисунок 87 – Влияние уклона и интенсивности осадков на величину стока, ст. Тацинская, чернозем южный, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 75 – Влияние уклона поверхности почвы на коэффициент стока, п. Кижеватово, темно-серые лесные почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Кижеватово, Пензенская область Темно-серая лесная Пар	1.1	0,58	0,00
	1.2	3,80	0,23
	1.3	2,20	0,15
	1.4	3,00	0,21
	2.1	0,87	0,00
	2.2	3,30	0,24
	2.3	5,09	0,35
	2.4	6,85	0,53
	3.1	0,80	0,10
	3.2	5,50	0,49
	3.3	7,67	0,63
	3.4	7,20	0,54
	4.1	0,68	0,07
	4.2	7,10	0,62
	4.3	7,70	0,59
	4.4	7,70	0,68

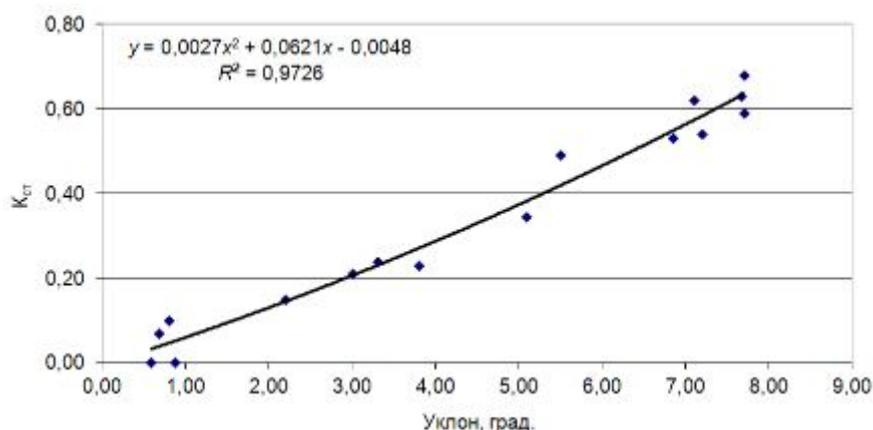


Рисунок 88 – Влияние уклона поверхности почвы на величину стока, п. Кижеватово, темно-серая лесная, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 76 – Влияние интенсивности осадков почвы на коэффициент стока, п. Кижеватово, темно-серые лесные почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Кижеватово, Пензенская область Темно-серая лесная Пар	1.1	0,73	0,00
	1.2	1,41	0,23
	1.3	1,10	0,15
	1.4	1,16	0,21
	2.1	0,34	0,00
	2.2	1,59	0,24
	2.3	1,27	0,35
	2.4	1,67	0,53
	3.1	0,75	0,10
	3.2	1,68	0,49
	3.3	1,73	0,63
	3.4	1,59	0,54
	4.1	0,65	0,07
	4.2	1,50	0,62
	4.3	1,31	0,59
	4.4	1,82	0,68

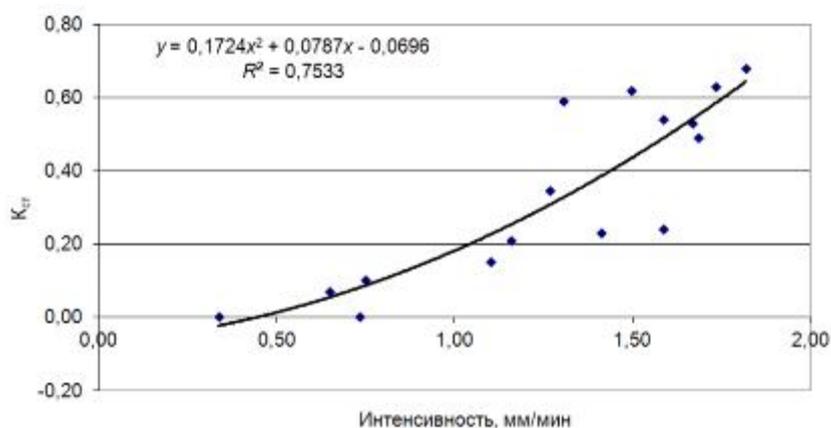


Рисунок 89 – Влияние интенсивности осадков на величину стока, п. Кижеватово, темно-серая лесная, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 77 – Влияние водопроницаемости почвы на коэффициент стока, п. Кижеватово, темно-серые лесные почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
п. Кижеватово, Пензенская область Темно-серая лесная Пар	1.1	1,90	0
	1.2	1,05	0,44
	1.3	0,87	0,47
	1.4	1,23	0,35
	2.1	1,96	0
	2.2	0,86	0,46
	2.3	1,23	0,39
	2.4	0,89	0,53
	3.1	1,74	0,1
	3.2	1,09	0,49
	3.3	0,92	0,63
	3.4	1,02	0,54
	4.1	1,87	0,1
	4.2	0,96	0,62
4.3	0,88	0,59	
4.4	0,87	0,68	

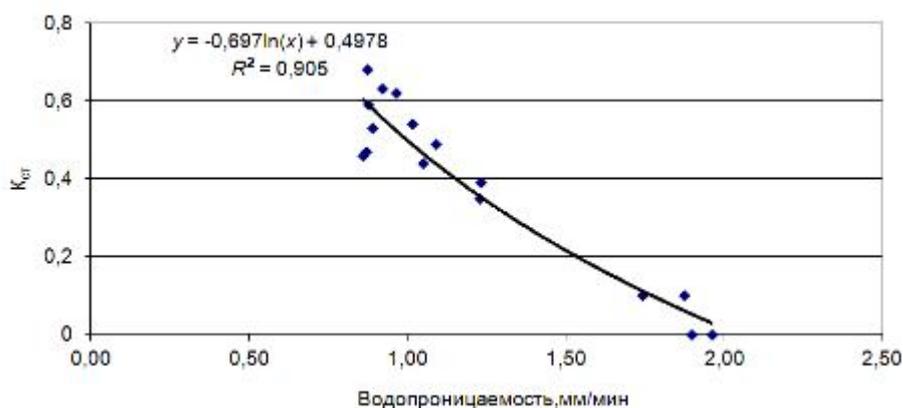


Рисунок 90 – Влияние водопроницаемости почвы на величину стока, п. Кижеватово, темно-серые лесные, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Таблица 78 – Данные для получения зависимости коэффициента стока от уклона, водопроницаемости почвы и интенсивности осадков, п. Кижеватово, темно-серые лесные почвы, пар, 2007 г.

Местоположение, тип почвы, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Водопроницаемость почвы, мм/мин	Интенсивность осадков, мм/мин	Коэффициент стока $K_{ст}$
1	2	3	4	5	6
п. Кижеватово, Пензенская область Темно-серая лесная Пар	1.1	0,58	1,90	0,73	0,00
	1.2	3,80	1,05	1,41	0,23
	1.3	2,20	0,87	1,10	0,15
	1.4	3,00	1,23	1,16	0,21
	2.1	0,87	1,96	0,34	0,00
	2.2	3,30	0,86	1,59	0,24

Продолжение таблицы 78

1	2	3	4	5	6
	2.3	5,09	1,23	1,27	0,35
	2.4	6,85	0,89	1,67	0,53
	3.1	0,80	1,74	0,75	0,10
	3.2	5,50	1,09	1,68	0,49
	3.3	7,67	0,92	1,73	0,63
	3.4	7,20	1,02	1,59	0,54
	4.1	0,68	1,87	0,65	0,07
	4.2	7,10	0,96	1,50	0,62
	4.3	7,70	0,88	1,31	0,59
	4.4	7,70	0,87	1,82	0,68

$$K_{ст} = -1,26 + 1,293 \cdot x + 1,004 \cdot y - 0,33 \cdot x^2 - 0,51 \cdot x \cdot y + 0,0021 \cdot y^2$$

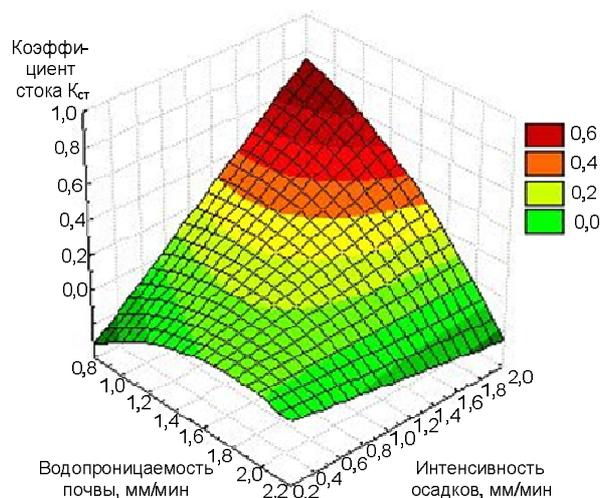


Рисунок 91 – Влияние водопроницаемости почвы и интенсивности осадков на величину стока, п. Кижеватово, темно-серые лесные, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = -0,51 + 0,096 \cdot x + 0,874 \cdot y + 0,0038 \cdot x^2 - 0,05 \cdot x \cdot y - 0,31 \cdot y^2$$

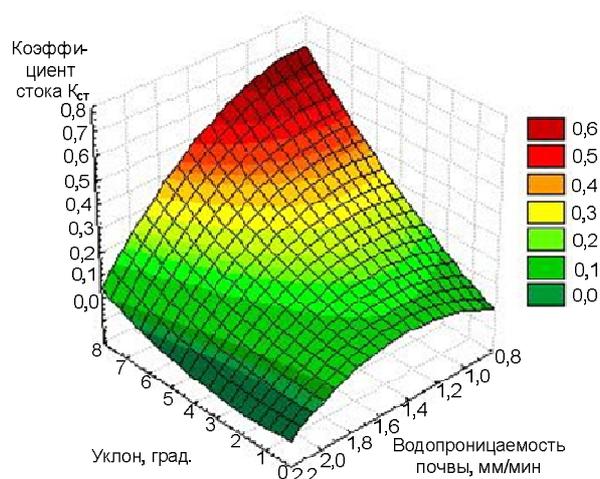


Рисунок 92 – Влияние уклона и водопроницаемости почвы на величину стока, п. Кижеватово, темно-серые лесные, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

$$K_{ст} = -0,61 + 0,0123 \cdot x + 0,177 \cdot y + 0,003 \cdot x^2 + 0,028 \cdot x \cdot y - 0,077 \cdot y^2$$

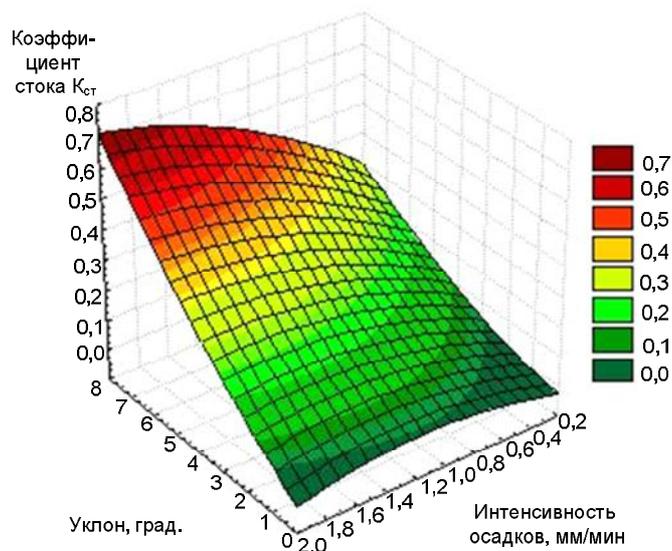


Рисунок 93 – Влияние уклона и интенсивности осадков на величину стока, п. Кижеватово, темно-серые лесные, обработка почвы или культура, пар, 2007 г.

Статистическая обработка данных таблиц 58, 62, 66, 70, 74 и 78 позволила построить трехмерные графики в координатах XYZ, которые отображают связи влияния уклона местности, интенсивности осадков, водопроницаемости почв с коэффициентом стока для различных почвенных разностей. Основная задача построенных графиков – упростить сравнение взаимосвязей между переменными для различных групп или категорий полевых наблюдений и использование уравнений для разработки программ и моделирования процессов стока.

Обработка данных, вышеуказанных таблиц и рисунков была осуществлена с помощью корреляционного матричного анализа основной статистики. При вычислении корреляции Пирсона предполагалось, что переменные измерены в интервальной шкале. Коэффициенты корреляции изменялись в пределах от минус 1,00 до плюс 1,00. При анализе влияния водопроницаемости почв на величину стока значение минус 1,00 означало, что данная переменная имеет строгую отрицательную корреляцию. Значение плюс 1,00 (для уклона и интенсивности осадков) означало, что эти переменные имеют строгую положительную корреляцию. Значение от 0,00 до $\pm 0,50$ означает отсутствие или слабая корреляция.

В процессе анализа оценивалась статистическая значимость результата p . Потому что именно p – уровень представляет собой вероятность ошибки, связанной с распространением наблюдаемого результата на всю выборку переменных. Например, p – уровень = 0,05 (т. е. 1/20) показывает, что имеется 5%-я вероятность, что найденная в выборке связь между переменными является лишь случайной особенностью данной выборки. В наших исследованиях p – уровень 0,05 рассматривается как «приемлемая граница» уровня ошибки. Полученные данные сведены в таблицу 79.

Анализ результатов, приведенных в таблице, показал, что на увеличение значений коэффициента стока $K_{ст}$ весьма существенно влияет уклон местности. Это характерно прослеживается по величинам коэффициента корреляции для всех почвенных разностей (0,98–0,96). Значения коэффициента корреляции снижаются от

чернозема обыкновенного ($r = 0,98$) до светло-каштановой почвы ($r = 0,96$). Для дерново-подзолистой, бурой полупустынной и темно-серой лесной почв коэффициент корреляции между коэффициентом стока и уклонами местности одинаков.

Таблица 79 – Корреляция r переменных при $p = 0,05$

Показатель	Корреляция r переменных
По данным таблицы 68	
Почва – чернозем обыкновенный	
Переменная	$K_{ст}$
Уклон	0,98
Водопроницаемость почвы	-0,83
Интенсивность осадков	0,70
По данным таблицы 70	
Почва – бурая полупустынная	
Переменная	$K_{ст}$
Уклон	0,98
Водопроницаемость почвы	-0,84
Интенсивность осадков	0,88
По данным таблицы 62	
Почва – светло-каштановая	
Переменная	$K_{ст}$
Уклон	0,96
Водопроницаемость почвы	-0,71
Интенсивность осадков	0,91
По данным таблицы 74	
Почва – чернозем южный	
Переменная	$K_{ст}$
Уклон	0,97
Водопроницаемость почвы	-0,85
Интенсивность осадков	0,89
По данным таблицы 66	
Почва – дерново-подзолистая	
Переменная	$K_{ст}$
Уклон	0,98
Водопроницаемость почвы	-0,85
Интенсивность осадков	0,88
По данным таблицы 78	
Почва – темно-серая лесная	
Переменная	$K_{ст}$
Уклон	0,98
Водопроницаемость почвы	-0,77
Интенсивность осадков	0,86

Слабее прослеживается связь между коэффициентом стока и интенсивностью осадков ($r = 0,91-0,70$). В процессе изучения динамики изменения r по почвенным разностям, отмечается, что увеличение значений коэффициента корреляции происходит от легких почв к более тяжелым по гранулометрическому составу, но близких

по условиям почвообразовательных процессов (чернозем обыкновенный – чернозем южный – светло-каштановая почва). Это объясняется более низким содержанием водопрочных агрегатов в легких по гранулометрическому составу почвах.

Для дерново-подзолистой, бурой полупустынной и темно-серой лесной почв коэффициент корреляции между коэффициентом стока и уклонами местности практически одинаков (0,88; 0,88 и 0,86 – соответственно).

Водопроницаемость почвы образует отрицательную корреляционную связь с увеличением значений коэффициента стока. Величины коэффициента корреляции, также как и в случае с анализом связей между коэффициентом стока и интенсивностью осадков уменьшаются практически по обратной схеме: чернозем южный – ($r = -0,83$); чернозем обыкновенный – ($r = -0,85$) и светло-каштановая почва – ($r = -0,71$). Это свидетельствует о том, что черноземы на пару могут впитать и содержать в себе больший объем поступивших осадков, а также содержат большее число крупных водопрочных частиц.

Отрицательные значения корреляции между коэффициентом стока и водопроницаемостью дерново-подзолистой ($r = -0,85$), бурой полупустынной ($r = -0,85$) и темно-серой лесной почв ($r = -0,77$) можно охарактеризовать следующим образом: первые две почвенные разности на пару характеризуются весьма близкими показателями водопроницаемости, а темно-серая лесная почва – более низкими значениями данного показателя.

5.4.2 Составляющие поверхностного стока: общая, жидкая и твердая фазы и смыв почвы поверхностным стоком

При проведении исследований исполнителями учитывался поверхностный сток общий и его составляющие по фазам – жидкий (вода) и твердый сток (сток наносов).

Твердая фаза почвы поступает со стоками и осаждается в оврагах, балках и водоемах в виде ила и мелкозема, смытых дождевыми осадками. Наибольшее влияние на сток оказывает уклон поверхности почвы, водно-физические свойства почвы и другие факторы. Ниже приводятся обработанные математическими и статистическими методами данные поверхностного стока в связи с уклоном поверхности почвы, а также смыв почвы в т/га (таблицы 80–91 и рисунки 94–105).

Таблица 80 – Влияние уклона поверхности почвы на величину стока (общий, жидкий и твердый), 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	$K_{ст}$ общий	$K_{ст}$ жидкий	$K_{ст}$ твердый
1	2	3	4	5	6
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пар	1.1	1,08	0	0,000	0,000
	1.2	2,09	0,16	0,156	0,004
	1.3	1,70	0,12	0,111	0,009
	1.4	3,96	0,15	0,132	0,018
	2.1	0,38	0	0,000	0,000
	2.2	3,10	0,24	0,238	0,002
	2.3	5,11	0,41	0,375	0,035
	2.4	4,80	0,35	0,325	0,025
	3.1	0,67	0,05	0,047	0,003
	3.2	5,40	0,65	0,580	0,070
	3.3	6,80	0,62	0,528	0,092
	3.4	5,90	0,53	0,473	0,057

Продолжение таблицы 80

1	2	3	4	5	6
	4.1	1,15	0	0,000	0,000
	4.2	7,50	0,65	0,603	0,047
	4.3	7,70	0,81	0,736	0,074
	4.4	7,45	0,79	0,727	0,063

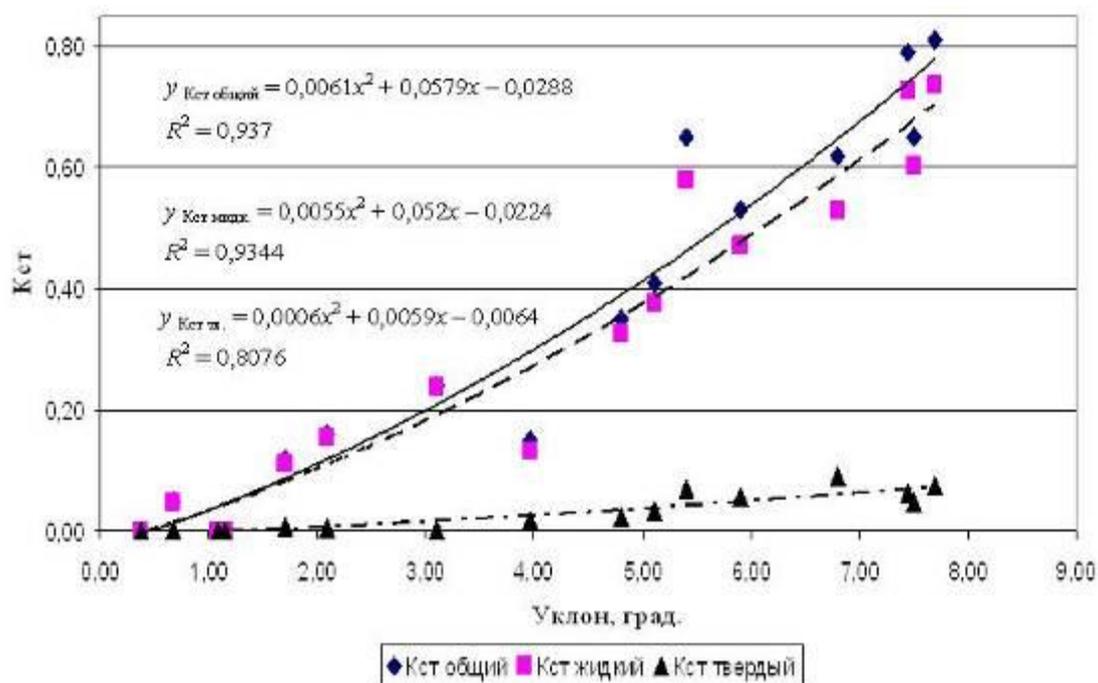


Рисунок 94 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы), п. Степной, чернозем обыкновенный, пар

Таблица 81 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Смыв почвы, т/га
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пар	1.1	1,08	0,00
	1.2	2,09	5,29
	1.3	1,70	6,19
	1.4	3,96	7,29
	2.1	0,38	0,00
	2.2	3,10	2,04
	2.3	5,11	22,91
	2.4	4,80	22,90
	3.1	0,67	2,11
	3.2	5,40	55,36
	3.3	6,80	67,47
	3.4	5,90	59,48
	4.1	1,15	0,00
	4.2	7,50	49,74
	4.3	7,70	59,01
	4.4	7,45	67,90

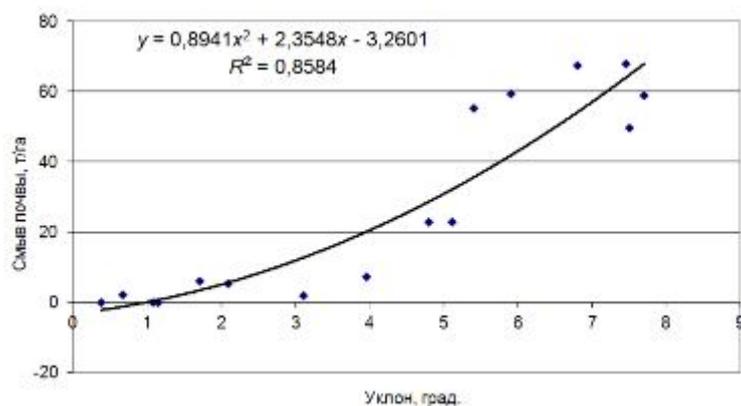


Рисунок 95 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы, п. Степной, чернозем обыкновенный, пар

Таблица 82 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	К _{ст} общий	К _{ст} жидкий	К _{ст} твердый
п. Дубовка, Волгоградская область Светло-каштановые Пар	1.1	0,87	0,04	0,04	0,00
	1.2	1,8	0,2	0,18	0,02
	1.3	2,1	0,15	0,13	0,02
	1.4	2,5	0,21	0,20	0,01
	2.1	1,23	0,06	0,06	0,00
	2.2	3,6	0,35	0,31	0,04
	2.3	3,2	0,22	0,20	0,02
	2.4	4,1	0,44	0,39	0,05
	3.1	1,07	0,07	0,07	0,00
	3.2	5,4	0,45	0,38	0,07
	3.3	6,1	0,74	0,64	0,10
	3.4	6,7	0,61	0,50	0,11
	4.1	0,86	0,1	0,10	0,00
	4.2	7,4	0,88	0,76	0,12
	4.3	7,7	0,84	0,70	0,14
4.4	8,1	0,76	0,63	0,13	

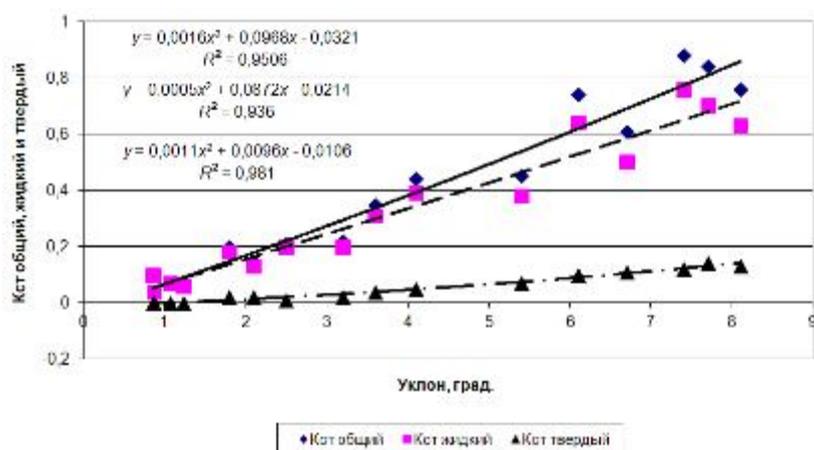


Рисунок 96 – Влияние уклона на коэффициенты стока общей, жидкой и твердой фазы, п. Дубовка, почвы светло-каштановые, пар

Таблица 83 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Смыв почвы, т/га
п. Дубовка, Волгоградская область Светло-каштановые Пар	1.1	0,87	1,76
	1.2	1,8	51,3
	1.3	2,1	53,7
	1.4	2,5	28,38
	2.1	1,23	1,32
	2.2	3,6	58,74
	2.3	3,2	67,98
	2.4	4,1	60,94
	3.1	1,07	2,2
	3.2	5,4	112,2
	3.3	6,1	94,6
	3.4	6,7	79,75
	4.1	0,86	1,1
	4.2	7,4	116,6
4.3	7,7	115,5	
4.4	8,1	122,65	

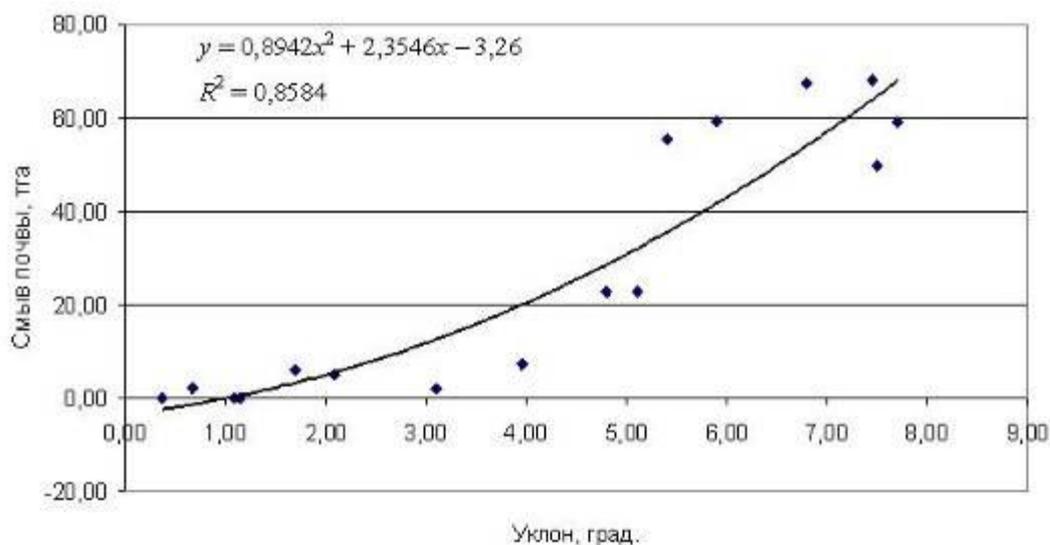


Рисунок 97 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы, п. Дубовка, светло-каштановые почвы, пар

Таблица 84 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	K _{ст} общий	K _{ст} жидкий	K _{ст} твердый
1	2	3	4	5	6
п. Чуркино, Нижегородская область Дерново-подзолистая Пар	1.1	0,97	0	0,00	0,00
	1.2	4,51	0,24	0,22	0,02
	1.3	1,40	0,12	0,12	0,00
	1.4	3,25	0,16	0,15	0,01

Продолжение таблицы 84

1	2	3	4	5	6
	2.1	1,04	0,05	0,05	0,00
	2.2	5,08	0,35	0,28	0,07
	2.3	5,41	0,33	0,26	0,05
	2.4	5,98	0,42	0,33	0,09
	3.1	0,83	0,04	0,04	0,00
	3.2	8,81	0,66	0,58	0,16
	3.3	7,83	0,64	0,55	0,10
	3.4	6,80	0,58	0,47	0,11
	4.1	1,37	0,07	0,07	0,00
	4.2	8,63	0,77	0,64	0,15
	4.3	7,60	0,73	0,61	0,13
	4.4	8,30	0,66	0,49	0,19

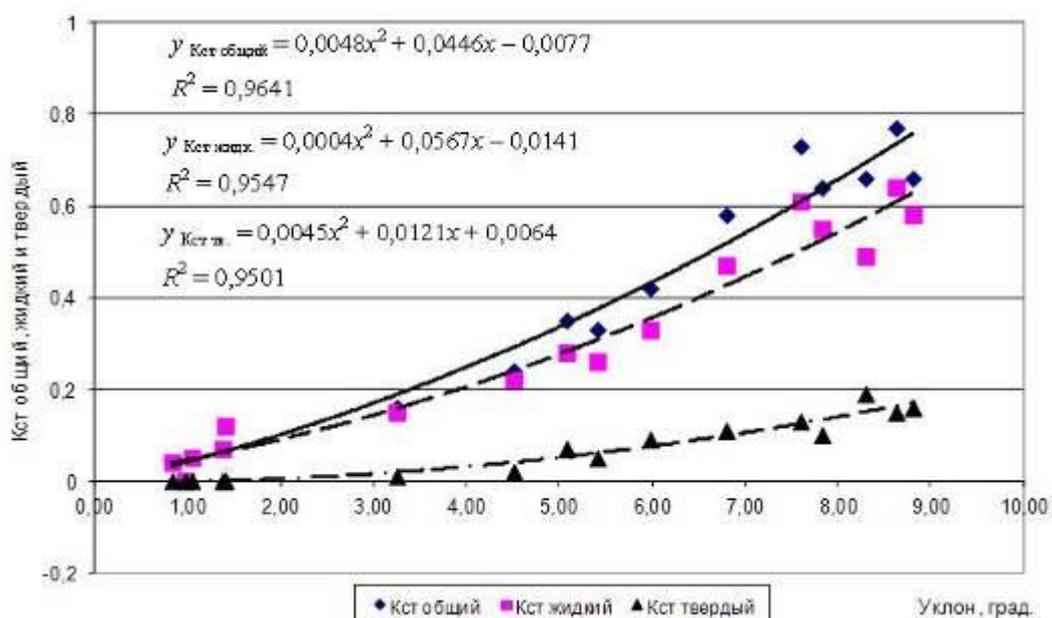


Рисунок 98 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы), п. Чуркино, дерново-подзолистые почвы, пар

Таблица 85 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Смыв почвы, т/га
1	2	3	4
п. Чуркино, Нижегородская область Дерново-подзолистая Пар	1.1	0,97	0
	1.2	4,51	41,36
	1.3	1,40	17,05
	1.4	3,25	23,38
	2.1	1,04	1,65
	2.2	5,08	99,22
	2.3	5,41	107,91
	2.4	5,98	96,69
	3.1	0,83	0,55

Продолжение таблицы 85

1	2	3	4
	3.2	8,81	113,94
	3.3	7,83	115,94
	3.4	6,80	106,59
	4.1	1,37	0,66
	4.2	8,63	129,03
	4.3	7,60	114,51
	4.4	8,30	141,68

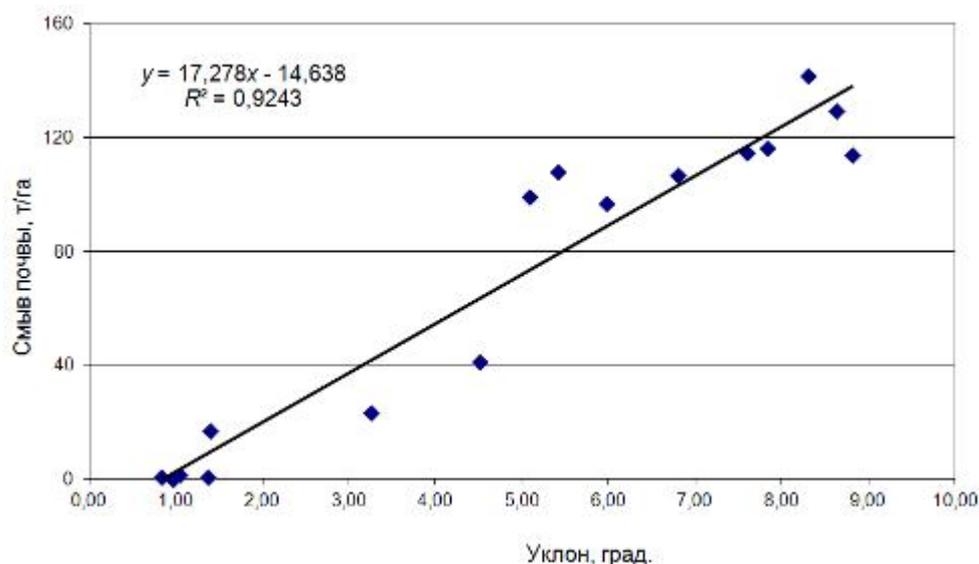


Рисунок 99 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы, п. Чуркино, дерново-подзолистые почвы, пар

Таблица 86 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	К _{ст} общий	К _{ст} жидкий	К _{ст} твердый
п. Джангир, Республика Калмыкия Бурые полупустынные Пар	1.1	0,66	0	0	0
	1.2	2,82	0,34	0,33	0,01
	1.3	3,49	0,23	0,21	0,02
	1.4	4,10	0,32	0,23	0,09
	2.1	1,41	0,12	0,11	0,01
	2.2	7,20	0,73	0,59	0,14
	2.3	5,50	0,59	0,49	0,1
	2.4	6,56	0,65	0,52	0,13
	3.1	0,84	0,1	0,1	0
	3.2	7,02	0,83	0,66	0,17
	3.3	6,40	0,77	0,62	0,15
	3.4	7,00	0,72	0,55	0,17
	4.1	2,79	0,2	0,19	0,01
	4.2	7,30	0,86	0,7	0,16
	4.3	7,50	0,88	0,73	0,15
	4.4	8,00	0,97	0,78	0,19

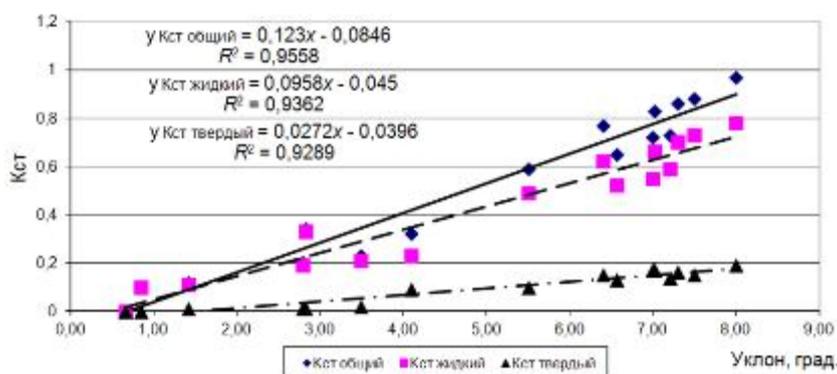


Рисунок 100 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы), п. Джангир, почвы бурые полупустынные, пар

Таблица 87 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Смыв почвы, т/га
п. Джангир, Республика Калмыкия Бурые полупустынные Пар	1.1	0,66	0,00
	1.2	2,82	10,10
	1.3	3,49	19,10
	1.4	4,10	88,10
	2.1	1,41	3,30
	2.2	7,20	133,40
	2.3	5,50	81,10
	2.4	6,56	100,10
	3.1	0,84	0,20
	3.2	7,02	140,50
	3.3	6,40	133,40
	3.4	7,00	134,80
	4.1	2,79	2,40
	4.2	7,30	135,70
4.3	7,50	123,20	
4.4	8,00	132,20	

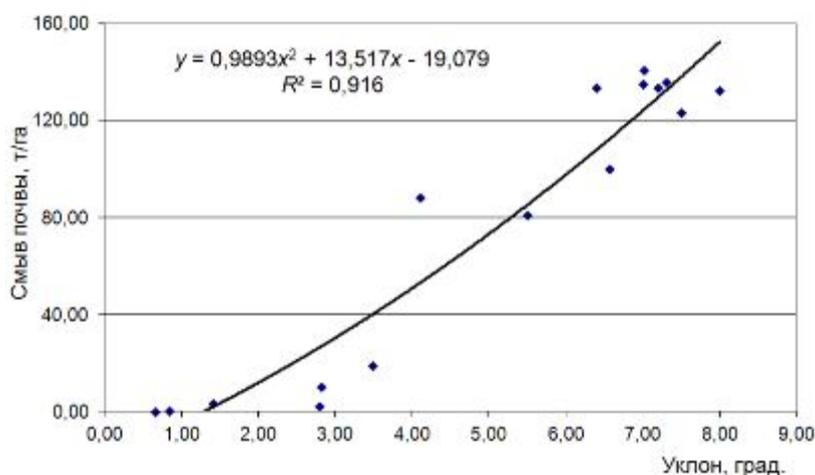


Рисунок 101 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы, п. Джангир, почвы бурые полупустынные, пар

Таблица 88 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	К _{ст} общий	К _{ст} жидкий	К _{ст} твердый
ст. Тацинская, Ростовская область Чернозем южный Пар	1.1	0,80	0	0	0
	1.2	6,62	0,44	0,39	0,05
	1.3	7,70	0,52	0,48	0,04
	1.4	2,40	0,19	0,18	0,01
	2.1	1,04	0,05	0,05	0
	2.2	3,10	0,21	0,2	0,01
	2.3	4,40	0,22	0,19	0,03
	2.4	3,80	0,22	0,19	0,03
	3.1	1,18	0	0	0
	3.2	5,70	0,35	0,31	0,04
	3.3	7,30	0,51	0,42	0,09
	3.4	6,60	0,65	0,56	0,09
	4.1	1,46	0,08	0,07	0,01
	4.2	8,40	0,73	0,57	0,16
	4.3	7,50	0,67	0,54	0,13
	4.4	6,90	0,64	0,53	0,11

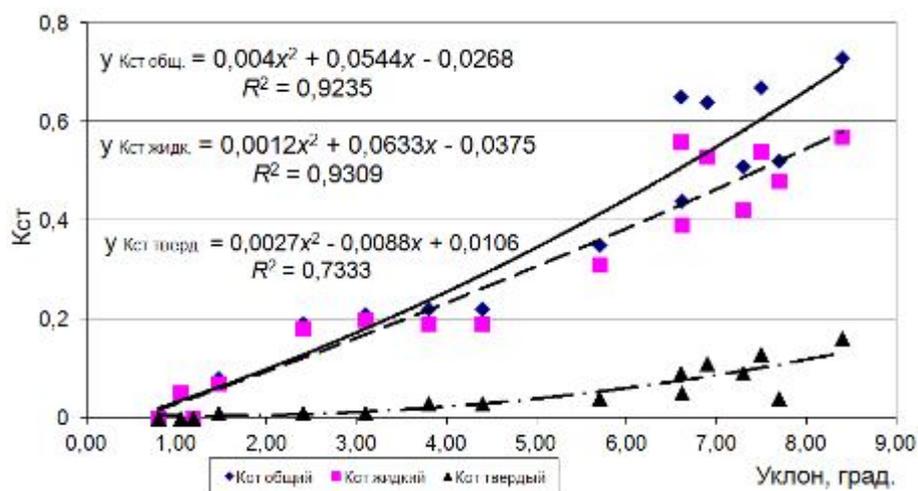


Рисунок 102 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы), ст. Тацинская, чернозем южный, пар

Таблица 89 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, ст. Тацинская, чернозем южный, пар, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Смыв почвы, т/га
1	2	3	4
ст. Тацинская, Ростовская область Чернозем южный Пар	1.1	0,80	0
	1.2	6,62	42
	1.3	7,70	66,6
	1.4	2,40	22,2
	2.1	1,04	1,3
	2.2	3,10	28,5

Продолжение таблицы 89

1	2	3	4
	2.3	4,40	49,3
	2.4	3,80	44,4
	3.1	1,18	0
	3.2	5,70	69,5
	3.3	7,30	85,5
	3.4	6,60	71,1
	4.1	1,46	3
	4.2	8,40	120,9
	4.3	7,50	113,2
	4.4	6,90	114,2

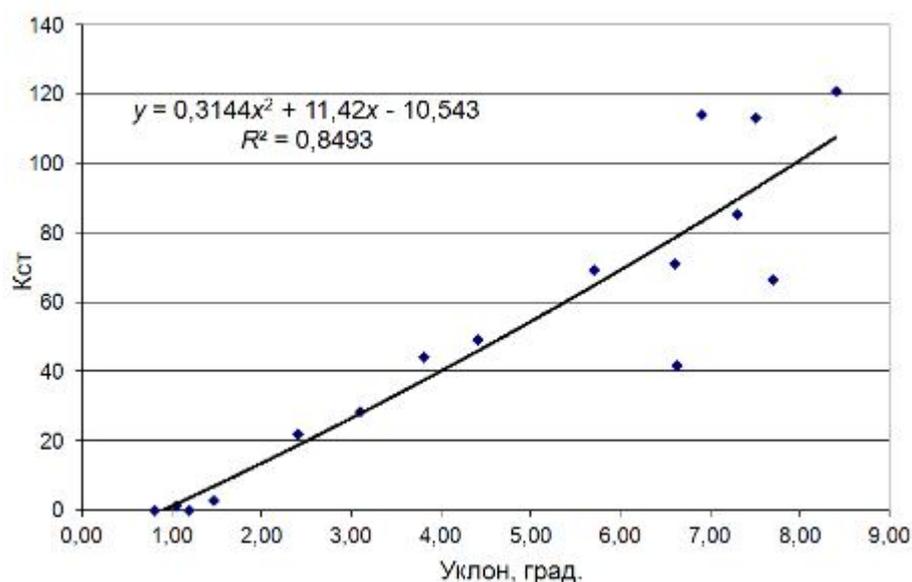


Рисунок 103 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы, ст. Тацинская, чернозем южный, пар

Таблица 90 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	К _{ст} общий	К _{ст} жидкий	К _{ст} твердый
1	2	3	4	5	6
п. Кижеватово, Пензенская область Темно-серая лесная Пар	1.1	0,58	0,00	0	0,00
	1.2	3,80	0,23	0,21	0,02
	1.3	2,20	0,15	0,15	0,00
	1.4	3,00	0,21	0,19	0,02
	2.1	0,87	0,00	0	0,00
	2.2	3,30	0,24	0,22	0,02
	2.3	5,09	0,35	0,3	0,05
	2.4	6,85	0,53	0,45	0,08
	3.1	0,80	0,10	0,1	0,00
	3.2	5,50	0,49	0,42	0,07
	3.3	7,67	0,63	0,51	0,12

Продолжение таблицы 90

1	2	3	4	5	6
	3.4	7,20	0,54	0,45	0,09
	4.1	0,68	0,07	0,07	0,00
	4.2	7,10	0,62	0,5	0,12
	4.3	7,70	0,59	0,46	0,13
	4.4	7,7	0,68	0,52	0,16

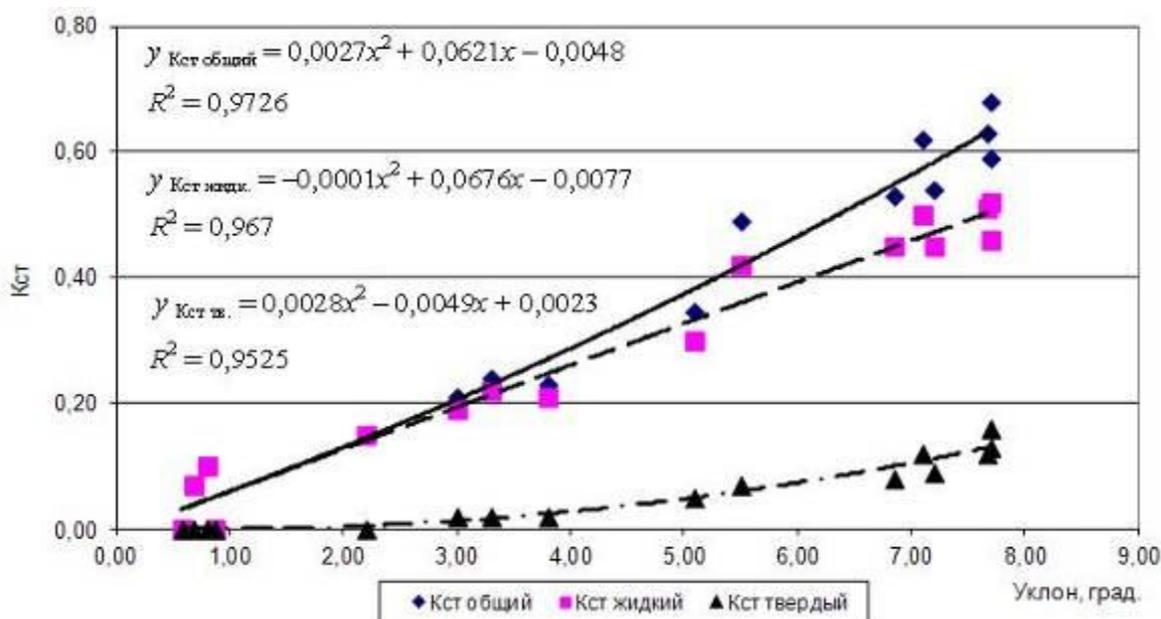


Рисунок 104 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы), п. Кижеватово, почвы темно-серые лесные, пар

Таблица 91 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы ливневыми осадками, 2007 г.

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Смыв почвы, т/га
п. Кижеватово, Пензенская область Темно-серая лесная Пар	1.1	0,58	0
	1.2	3,80	19,8
	1.3	2,20	0
	1.4	3,00	18,7
	2.1	0,87	0
	2.2	3,30	16,5
	2.3	5,09	45,1
	2.4	6,85	56,1
	3.1	0,80	0
	3.2	5,50	99
	3.3	7,67	103,4
	3.4	7,20	74,8
	4.1	0,68	0
	4.2	7,10	106,7
	4.3	7,70	126,5
4.4	7,70	137,5	

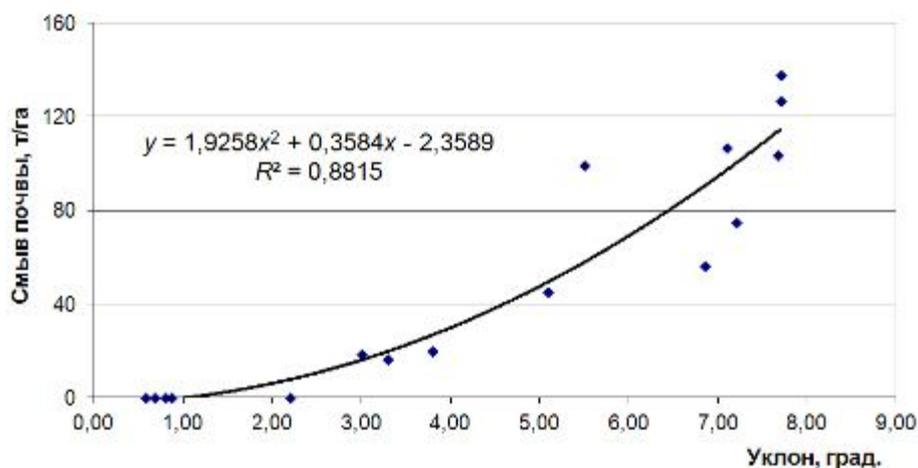


Рисунок 105 – Влияние уклона поверхности почвы на смыв почвы, п. Кижеватово, почвы темно-серые лесные, пар

Таким образом, нами установлены зависимости поверхностного стока, в том числе жидкой и твердой фазы от уклона поверхности почвы, типа почвы, которые используются при разработке алгоритма и автоматизированного программного комплекса расчета ущерба от поверхностного стока.

5.4.3 Влияние способов обработки почвы и пожнивных остатков на величину поверхностного стока

Для определения влияния способов обработки почвы и пожнивных остатков (мульчи) изучали влияние мульчирования соломой на поверхностный сток на фоне обычной вспашки и плоскорезной обработки.

Опыт проводился на чистом пару. Противозерозионная эффективность мульчи проверялась методом дождевания с интенсивностью дождя 2,5 мм/мин, при уклоне 2,5° (таблица 92).

Таблица 92 – Влияние способа обработки почвы и мульчирования измельченной соломой на поверхностный сток (без культуры)

Вариант	Способ обработки	Интенсивность впитывания в 1 час, мм/мин	Интенсивность стока, мм/мин	Смыв почвы, т/га
Без мульчирования	Отвальная вспашка	1,88	0,62	19,7
	Плоскорезная обработка	1,75	0,73	15,1
Мульчирование – 2 т/га	Отвальная вспашка	2,05	0,58	12,2
	Плоскорезная обработка	1,90	0,50	10,3
Мульчирование – 4 т/га	Обычная вспашка	2,15	0,37	6,8
	Плоскорезная обработка	1,95	0,46	5,3

Результаты исследований показали, что мульчирование почвы, измельченной соломой, уменьшает смыв примерно на 40 %.

Величина смыва почвы зависит от плотности сложения верхнего слоя почвы. Установлено, что на рыхлой почве водопроницаемость почвы выше и вода быстрее впитывается в почву, не образуя стока, или значительно в меньшем количестве (таблица 93, рисунки 106–109).

Таблица 93 – Влияние водно-физических свойств почвы на величину смыва

Плотность сложения, г/см ³ (x_1)	Водопроницаемость, мм/мин (x_4)	Количество водопрочных агрегатов, % (x_2)	Смыв почвы от ливня, т/га (y)
1,20	1,28	38,7	17,3
1,19	1,44	39,4	9,3
1,18	1,48	40,8	3,2
1,11	1,95	42,3	1,8
1,11	2,24	41,2	0,6
1,12	2,10	41,3	0,4

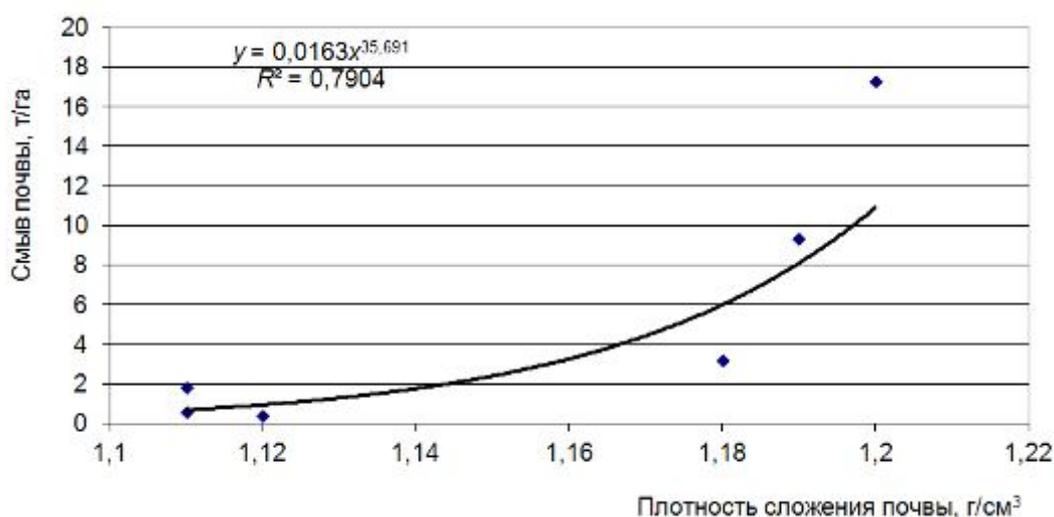


Рисунок 106 – Влияние плотности сложения почвы на смыв почвы

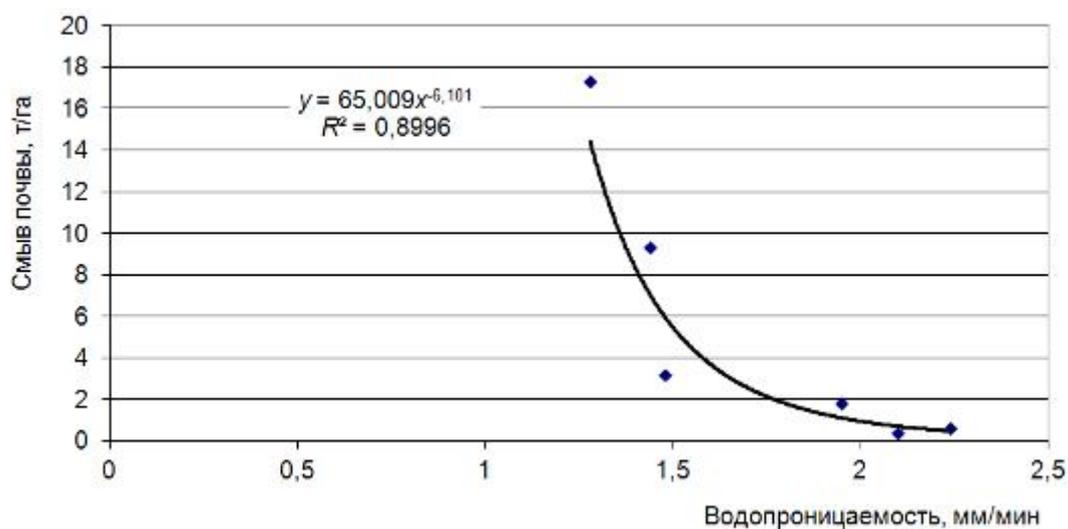


Рисунок 107 – Влияние водопроницаемости почвы на смыв почвы

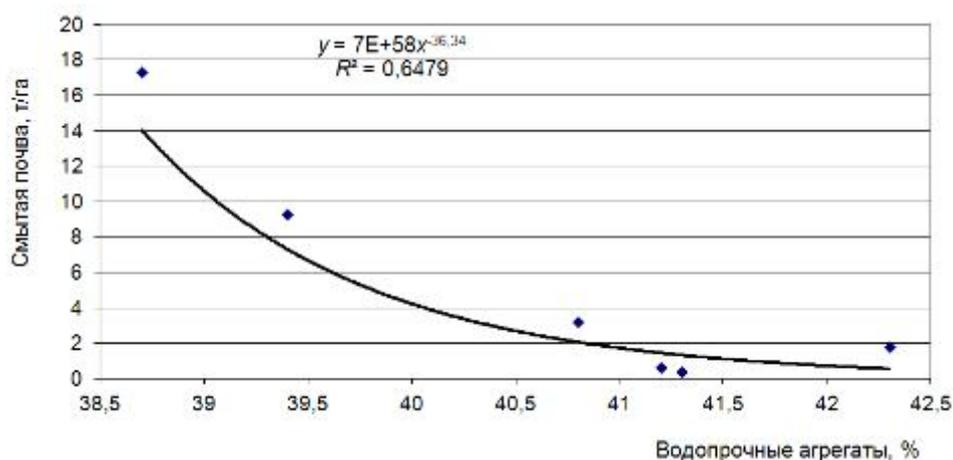


Рисунок 108 – Влияние водопрочных агрегатов на величину смыва почвы от ливневых осадков

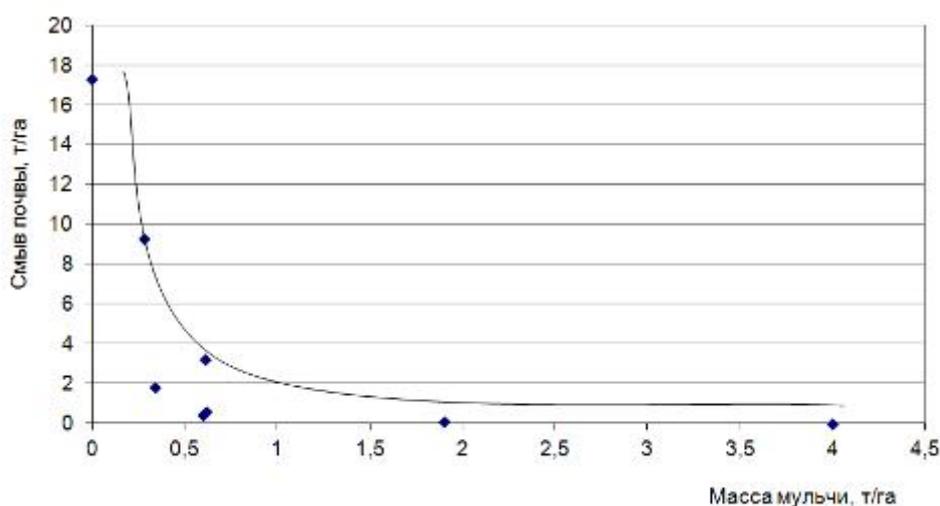


Рисунок 109 – Влияние пожнивных остатков (мульчи) на величину смыва почвы от ливневых осадков

На величину поверхностного стока влияют способы обработки почвы в процессе посева и ухода за растениями. Исследования, проведенные на черноземах обыкновенных (п. Степной), выявили зависимость между степенью проективного покрытия пашни различными сельскохозяйственными культурами, обработками почвы, способами посева и смывом почвы, стоком дождевых вод (таблица 94). Интенсивность дождя – 1,3–2,2 мм/мин, количество осадков 40 мм.

Таблица 94 – Смыв почвы при дождевании

Культура или агрофон	Способ посева, обработка	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га	Просочилось в почву, мм	Скорость инфильтрации, мм/мин
1	2	3	4	5	6	7
Яровой ячмень	Посев СЗ-3,6	12,0	0,30	0,40	28,0	0,93
	То же + прикатывание ЗКК-6А	14,0	0,35	0,48	26,0	0,87
	Посев стерневой селялкой	4,0	0,10	0,07	34,0	1,13

Продолжение таблицы 94

1	2	3	4	5	6	7
Озимая пшеница	Отвальная вспашка	14,5	0,24	3,7	45,5	1,26
	Плоскорезная обработка	16,9	0,28	2,6	43,1	1,19
	Поверхностная обработка	23,1	0,38	3,9	36,9	1,02
Эспарцет	Посев СЗ-3,6	13,5	0,23	0,15	44,1	1,47
Кукуруза	Рядовой посев	28,8	0,55	0,37	24,5	0,82
Чистый пар	Культивация КПГ-4,2	32,0	0,62	0,91	19,6	0,65
Зябрь	Поверхностная обработка на 10–12 см	0	0	0	45,0	1,48
	Вспашка на 20–22 см	0	0	0	127,0	1,78
	Плоскорезная обработка на 20–22 см	0	0	0	130,0	1,96

Наименьшая водопроницаемость и, соответственно, больший сток зарегистрированы на чистом пару, кукурузе, озимой пшенице в фазе трех листьев, то есть там, где поверхность почвы лишена растительного покрова или проективное покрытие почвы растениями незначительно. При увеличении проективного покрытия почвы растениями до 70–75 % (эспарцет) величина водопроницаемости увеличилась до 1,47 мм/мин, что в 1,7–2,2 раза выше, чем на чистом пару и плантациях кукурузы. Смыв почвы был минимальным.

На участках ярового ячменя на интенсивность эрозии и величину водопоглощения определенное влияние оказывал способ сева. Гребнистая поверхность пашни после посева стерневыми сеялками (ширина междурядий 23 см) увеличила площадь соприкосновения воды с почвой, улучшая водопроницаемость и снижая сток и смыв. На вариантах посева рядовой сеялкой СЗ-3,6 (ширина междурядий 14 см) с последующим прикатыванием сток дождевых вод и смыв почвы намного превышал эти показатели по сравнению со стерневым способом сева.

Отсутствовали процессы эрозии при искусственном дождевании зяби, обработанной орудиями типа КПШ-5, КПШ-9 на глубину 10–12 см при интенсивности дождя 1,3 мм/мин и сумме осадков 45 мм. Стерня защищает верхний слой почвы от разрушения при ливневых осадках, значительно удлиняет период с высокой скоростью инфильтрации воды в почву. Еще большей водопоглотительной способностью обладают участки, только что вспаханные плугами или обработанные плоскорезами-глубококорыхлителями на глубину 20–22 см.

В таблице 95 показан смыв почвы от ливневого дождя, который прошел 18 июня 2005 г., выпал ливневый дождь слоем 32,3 мм интенсивностью 1,4 мм/мин. Растения кукурузы находились в фазе 4–5 листьев, в связи с чем величина проективного покрытия поверхности почвы растениями составила в среднем 20–25 %. Наименьший смыв почв отмечен на варианте с чизельной обработкой и мульчированием.

В таблице 96 показан сток талых вод и смыв почв в 2006 г., которые были наименьшими на тех же вариантах.

Таблица 95 – Смыв почвы от ливневого дождя

Вариант опыта	Кол-во водородин на делянке, шт.	Ширина водородин, см		Глубина водородин, см		Смыв почвы, т/га
		min	max	min	max	
Отвальная вспашка	12	4	18	3	6	17,3
Плоскорезная обработка	9	2	12	1	4	9,3
Плоскорезная обработка + мульчирование	5	2	7	1	3	3,7
Чизельная обработка	4	2	5	11	3	2,2
Чизельная обработка + мульчирование	3	2	4	1	3	2,0
Чизельная обработка + полосное мульчирование	2	1	3	1	3	0,8

Таблица 96 – Сток талых вод и смыв почвы

Вариант опыта	Запас воды в снеге + осадки, мм	Сток талых вод, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
Отвальная вспашка	50,4 + 10,2	23,4	0,39	4,7
Плоскорезная обработка	68,2 + 10,2	28,9	0,37	2,2
Плоскорезная обработка + мульчирование	71,3 + 10,2	27,5	0,34	2,0
Чизельная обработка	76,8 + 10,2	9,5	0,11	0,9
Чизельная обработка + мульчирование	76,8 + 10,2	11,3	0,13	1,0
Чизельная обработка + полосное мульчирование	85,2 + 10,2	12,5	0,13	0,6

Объем стока и смыва почвы во многом зависит от количества стерни и растительных остатков, остающихся после проведения обработок. Они предохраняют почву от ударного действия дождевых капель в летний период, а также регулируют температурный режим в зимний период, уменьшая глубину промерзания почвы и увеличивая скорость просачивания талых вод (таблица 97).

Таблица 97 – Количество стерни и растительных остатков в зависимости от способа обработки и мульчирования (осенью)

Вариант опыта	Количество стерни после обработки		Количество растительных остатков, кг/га	Общее количество, кг/га
	шт./м ²	кг/га		
Отвальная вспашка	16	37	0	37
Плоскорезная обработка	423	1195	0	1195
Плоскорезная обработка + мульчирование	419	1150	1890	3040
Чизельная обработка	470	1310	0	1310
Чизельная обработка + мульчирование	470	1320	1870	3190
Чизельная обработка + полосное мульчирование	475	1320	1550	2870

Опытным путем установлено, что наиболее надежной мерой защиты чистого пара и посевов пропашных культур от смыва ливневыми дождями является их контурно-полосное размещение с культурами сплошного сева. Величина смыва почвы при интенсивности ливневой части дождя 0,9–1,2 мм/мин и чередовании полос пара с полосами озимой пшеницы на склоне 1,5° уменьшилась по сравнению со сплошным размещением пара в 3,1 раза, на склонах 3° – в 4,1 и 5,2° – в 1,6 раза (таблица 98).

Таблица 98 – Смыв почвы на чистом пару во время ливневых дождей

Крутизна склона, градус	Расстояние от водораздела, м	Смыв почвы, т/га	
		контурно-полосное размещение	сплошной пар
1,5	150	2,6	8,1
3,0	250	4,8	19,9
4,1	400	8,1	34,6
5,2	500	15,6	55,4

Таким образом, проведенные на почвах Ростовской области полевые исследования показали, что почвозащитные мероприятия могут значительно снизить сток с сельскохозяйственных угодий. Комплекс мероприятий предполагается разрабатывать и в последующие годы, но будет учитываться не только смыв почвы, но и содержание питательных элементов, как в жидком, так и твердом стоках. Это необходимо для назначения компенсационных мероприятий, в первую очередь, для увеличения коэффициента использования вносимых удобрений.

5.5 Влияние величины проективного покрытия поверхности почвы культурными растениями на сток

Для выяснения возможного влияния степени проективного покрытия поверхности почвы растениями на сток авторами проведены исследования на участках, занятых паром (контроль); пропашными культурами с проективным покрытием 10–20 % (фаза роста 9–10 листьев), 20–30 % (фаза роста – выметывание метелки) и 30–40 % (фаза роста – цветение); яровыми колосовыми с проективным покрытием 20–40 %; озимыми колосовыми – 30–50 %; однолетними травами – 40–60 %; многолетние травы – 60–80 %.

Полученные данные приводятся ниже в таблицах 99–109 и на рисунках 110–118.

Таблица 99 – Влияние рыхлой пашни на поверхностный сток, п. Степной, чернозем обыкновенный, пар (контроль)

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока		
			общий	жидкой фазы	твердой фазы
1	2	3	4	5	6
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пар	1.1	1,08	0	0	0
	1.2	2,09	0,16	0,16	0,01
	1.3	1,70	0,12	0,11	0,01
	1.4	2,00	0,15	0,13	0,02
	2.1	0,38	0	0	0
	2.2	3,10	0,24	0,24	0
	2.3	4,20	0,41	0,38	0,04
	2.4	3,80	0,35	0,33	0,03
	3.1	0,67	0,05	0,05	0

Продолжение таблицы 99

1	2	3	4	5	6
	3.2	5,40	0,65	0,58	0,07
	3.3	6,80	0,62	0,53	0,09
	3.4	5,90	0,53	0,47	0,06
	4.1	1,15	0	0	0
	4.2	7,50	0,65	0,60	0,05
	4.3	7,70	0,81	0,74	0,07
	4.4	8,20	0,79	0,73	0,06

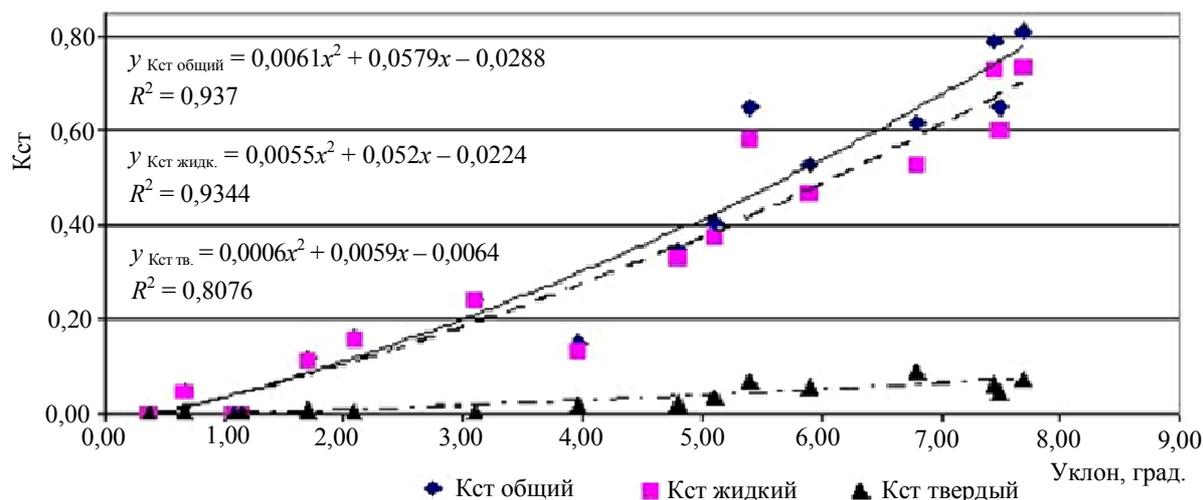


Рисунок 110 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы), п. Степной, чернозем обыкновенный, пар

Таблица 100 – Влияние посевов однолетних культур с проективным покрытием 40–60 % на поверхностный сток

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока		
			общий	жидкой фазы	твердой фазы
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Однолетние с покрытием 40–60 %	1.1	0,96	0	0	0
	1.2	4,20	0,033	0,032	0,001
	1.3	5,80	0,040	0,038	0,002
	1.4	6,40	0,047	0,044	0,002
	2.1	1,10	0	0	0
	2.2	5,20	0,032	0,031	0,001
	2.3	3,80	0,052	0,050	0,002
	2.4	6,00	0,043	0,041	0,002
	3.1	1,20	0,004	0,004	0
	3.2	4,80	0,065	0,062	0,003
	3.3	3,20	0,046	0,044	0,002
	3.4	6,60	0,055	0,053	0,002
	4.1	1,00	0	0	0
	4.2	3,60	0,050	0,049	0,001
	4.3	5,40	0,056	0,054	0,002
	4.4	6,10	0,043	0,041	0,002

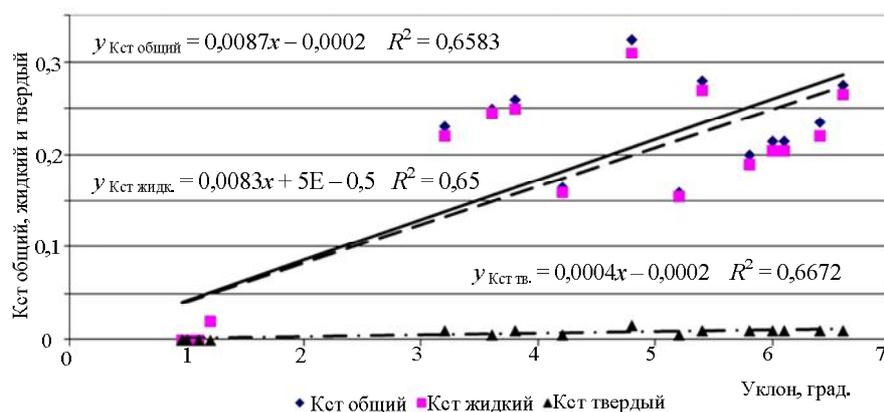


Рисунок 111 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы) при проективном покрытии поверхности почвы 40–60 %, п. Степной, чернозем обыкновенный, 2007 г.

Таблица 101 – Влияние посевов яровых колосовых культур с проективным покрытием 20–40 % на поверхностный сток

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока		
			общий	жидкой фазы	твердой фазы
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Яровые колосовые с покрытием 20–40 %	1.1	1,10	0	0	0
	1.2	3,60	0,11	0,107	0,003
	1.3	6,20	0,12	0,115	0,005
	1.4	7,30	0,14	0,138	0,007
	2.1	0,95	0	0	0
	2.2	4,00	0,11	0,107	0,003
	2.3	5,60	0,16	0,154	0,006
	2.4	6,20	0,13	0,125	0,005
	3.1	1,20	0,02	0,020	0,000
	3.2	4,20	0,2	0,194	0,006
	3.3	6,70	0,19	0,182	0,008
	3.4	5,60	0,16	0,154	0,006
	4.1	0,88	0	0	0
	4.2	4,90	0,15	0,144	0,006
	4.3	6,40	0,17	0,163	0,007
	4.4	3,20	0,14	0,136	0,004

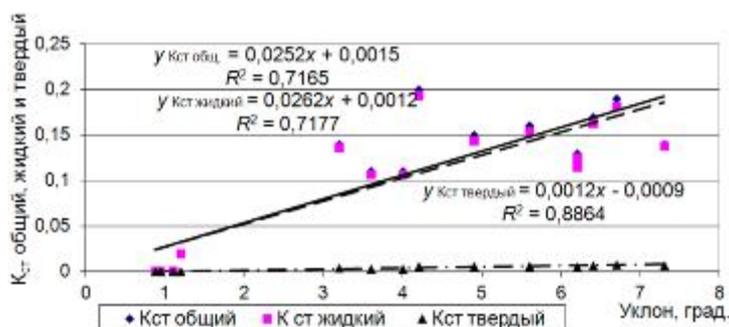


Рисунок 112 – Влияние уклона на сток (общий, жидкий и твердой фазы) при проективном покрытии поверхности почвы 20–40 %, п. Степной, чернозем обыкновенный, 2007 г.

Таблица 102 – Влияние посевов пропашных культур с проективным покрытием 10–20 % на поверхностный сток

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока		
			общий	жидкой фазы	твердой фазы
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пропашные с покрытием 10–20 %	1.1	1,1	0	0	0
	1.2	3,6	0,15	0,150	0,005
	1.3	4,8	0,17	0,160	0,005
	1.4	6,3	0,21	0,200	0,008
	2.1	0,9	0	0	0
	2.2	3,4	0,15	0,150	0,004
	2.3	5,8	0,21	0,200	0,008
	2.4	4,2	0,21	0,200	0,006
	3.1	1,2	0,01	0,009	0
	3.2	5,1	0,30	0,029	0,012
	3.3	6,3	0,29	0,230	0,012
	3.4	4,4	0,24	0,230	0,007
	4.1	1,0	0,01	0,009	0
	4.2	3,6	0,21	0,200	0,006
	4.3	6,4	0,27	0,260	0,010
	4.4	5,1	0,18	0,170	0,007

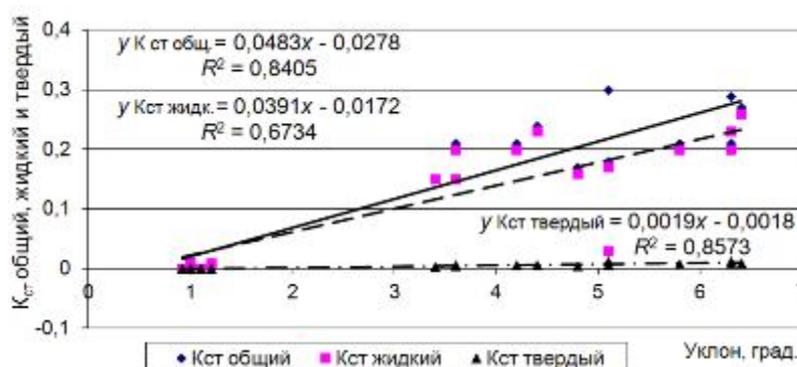


Рисунок 113 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы) при проективном покрытии поверхности почвы 10–20 %, п. Степной, чернозем обыкновенный, 2007 г.

Таблица 103 – Влияние посевов пропашных культур с проективным покрытием 20–30 % на поверхностный сток

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока		
			общий	жидкой фазы	твердой фазы
1	2	3	4	5	6
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пропашные с покрытием 20–30 %	1.1	1,1	0	0	0
	1.2	2,6	0,11	0,1	0,010
	1.3	2,8	0,13	0,11	0,020
	1.4	4,4	0,17	0,16	0,005
	2.1	0,9	0	0	0
	2.2	2,9	0,14	0,14	0,003
	2.3	5,1	0,19	0,18	0,008

Продолжение таблицы 103

1	2	3	4	5	6
	2.4	4,0	0,16	0,16	0,005
	3.1	1,5	0,01	0,009	0
	3.2	6,3	0,24	0,23	0,009
	3.3	6,1	0,23	0,22	0,009
	3.4	4,9	0,20	0,19	0,008
	4.1	0,9	0	0	0
	4.2	4,6	0,18	0,17	0,006
	4.3	5,3	0,20	0,19	0,008
	4.4	4,2	0,15	0,15	0,004

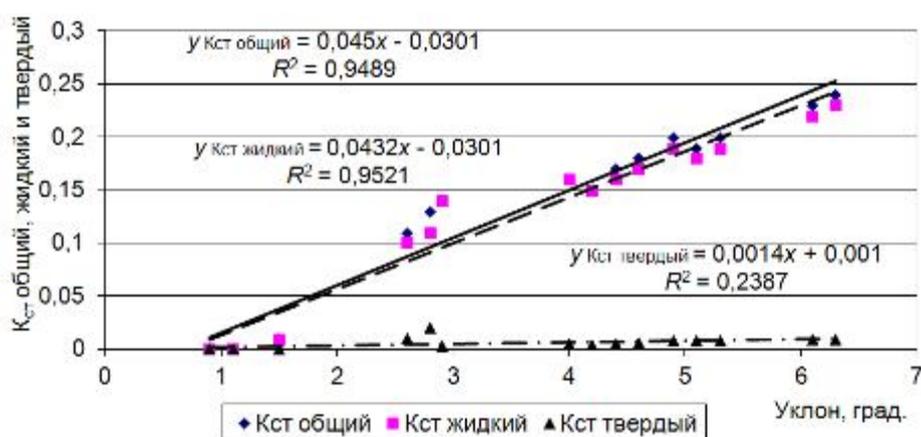


Рисунок 114 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы) при проективном покрытии поверхности почвы 20–30 %, п. Степной, чернозем обыкновенный, 2007 г.

Таблица 104 – Влияние посевов пропашных культур с проективным покрытием 30–40 % на поверхностный сток

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока		
			общий	жидкой фазы	твердой фазы
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Пропашные с покрытием 30–40 %	1.1	1,0	0	0	0
	1.2	5,6	0,05	0,049	0,001
	1.3	3,7	0,06	0,058	0,002
	1.4	6,3	0,07	0,067	0,004
	2.1	1,0	0	0	0
	2.2	6,7	0,05	0,049	0,001
	2.3	4,2	0,08	0,078	0,002
	2.4	5,2	0,07	0,067	0,003
	3.1	1,1	0,01	0,010	0
	3.2	6,5	0,10	0,096	0,004
	3.3	5,8	0,09	0,086	0,004
	3.4	4,2	0,08	0,078	0,002
	4.1	1,2	0	0	0
	4.2	3,5	0,07	0,068	0,002
	4.3	7,2	0,09	0,086	0,004
	4.4	4,8	0,07	0,067	0,003

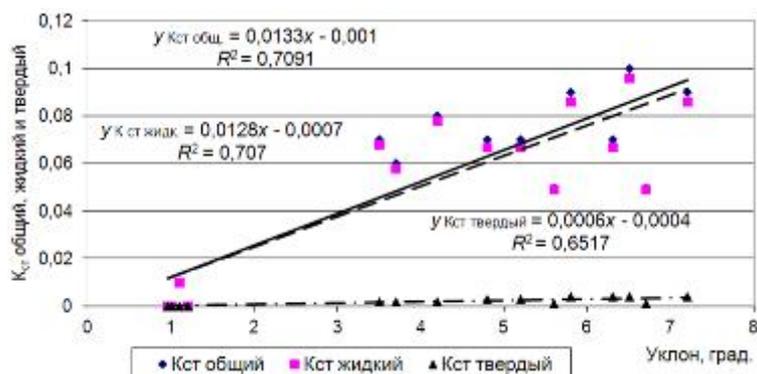


Рисунок 115 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы) при проективном покрытии поверхности почвы 30–40 %, п. Степной, чернозем обыкновенный, 2007 г.

Таблица 105 – Влияние посевов многолетних культур с проективным покрытием 60–80 % на поверхностный сток

Местоположение, почва, обработка	Вариант опыта	Уклон, град.	Коэффициент стока		
			общий	жидкой фазы	твердой фазы
п. Степной, Ростовская область Чернозем обыкновенный Многолетние с покрытием 60–80 %	1.1	1,10	0	0	0
	1.2	3,30	0,012	0,012	0,0004
	1.3	6,40	0,011	0,011	0,0004
	1.4	5,10	0,013	0,013	0,0005
	2.1	0,96	0	0	0
	2.2	6,10	0,011	0,011	0,0004
	2.3	5,70	0,016	0,015	0,0006
	2.4	4,20	0,013	0,013	0,0004
	3.1	1,20	0,001	0,001	0
	3.2	6,00	0,020	0,019	0,0008
	3.3	6,90	0,021	0,020	0,0008
	3.4	4,10	0,020	0,016	0,0005
	4.1	1,00	0	0	0
	4.2	6,10	0,015	0,014	0,0006
	4.3	5,60	0,018	0,017	0,0008
	4.4	3,80	0,013	0,013	0,0004

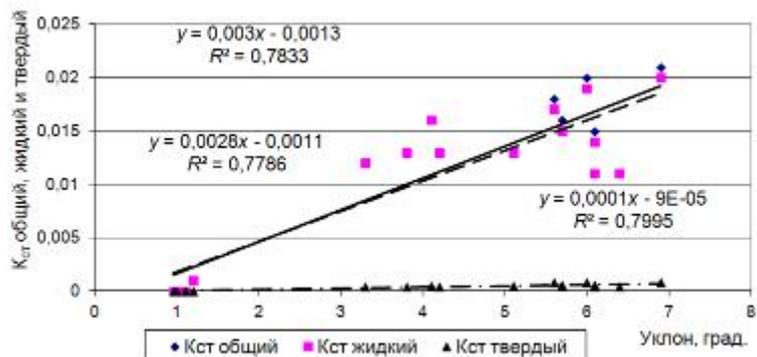


Рисунок 116 – Влияние уклона на сток (общий, жидкой и твердой фазы) при проективном покрытии поверхности почвы 60–80 %, п. Степной, чернозем обыкновенный, 2007 г.

Полученные при этом данные позволили уточнить $K_{\text{пн}}$ для разных вариантов опыта и получить поправочные коэффициенты к стоку для различных культур. Полученные поправочные коэффициенты приведены в таблицах 106, 107.

Таблица 106 – Поправочные коэффициенты снижения поверхностного стока в зависимости от степени проективного покрытия поверхности почвы культурными растениями, п. Степной

Вариант опыта	Коэффициенты снижения стока $K_{\text{пн}}$ от размеров проективного покрытия по культурам						
	Пар	Однолетние травы, 40–60 %	Яровые колосовые, 20–40 %	Пропашные			Многолетние травы, 60–80 %
				10–20 %	20–30 %	30–40 %	
1.1	1,0	0	0	0	0	0	0
1.2	1,0	0,206	0,688	0,688	0,688	0,313	0,075
1.3	1,0	0,333	0,833	0,833	0,667	0,417	0,092
1.4	1,0	0,313	0,933	0,933	0,467	0,467	0,087
2.1	1,0	0	0	0	0	0	0
2.2	1,0	0,133	0,458	0,458	0,583	0,208	0,046
2.3	1,0	0,127	0,390	0,390	0,463	0,195	0,039
2.4	1,0	0,123	0,371	0,371	0,457	0,200	0,037
3.1	1,0	0,080	0,400	0,400	0,200	0,200	0,020
3.2	1,0	0,100	0,308	0,308	0,369	0,154	0,031
3.3	1,0	0,074	0,306	0,306	0,371	0,145	0,034
3.4	1,0	0,104	0,302	0,302	0,377	0,151	0,038
4.1	1,0	0,080	0,400	0,600	0,480	0,200	0,200
4.2	1,0	0,077	0,231	0,231	0,277	0,108	0,023
4.3	1,0	0,069	0,210	0,210	0,247	0,111	0,022
4.4	1,0	0,054	0,177	0,177	0,190	0,089	0,016
Средне-взвешен. коэф. $K_{\text{пн}}$	1,0	0,117	0,376	0,388	0,365	0,185	0,047

Таблица 107 – Коэффициенты покрытия поверхности почвы в зависимости от величины покрытия почвы по типам почвы

Тип почвы	Проективное покрытие растениями поверхности почвы, %						
	10	20	30	40	50	60	80
Чернозем обыкновенный	0,43	0,35	0,16	0,30	0,16	0,11	0,03
Чернозем южный	0,45	0,36	0,14	0,31	0,17	0,07	0,01
Светло-каштановые	0,45	0,36	0,15	0,28	0,15	0,11	0,03
Темно-серая лесная	0,47	0,37	0,15	0,31	0,07	0,10	0,03
Бурые полупустынные	0,47	0,34	0,16	0,31	0,16	0,11	0,03
Дерново-подзолистые	0,45	0,34	0,28	0,29	0,24	0,12	0,09
Средневзвешенные поправочные коэффициенты $K_{\text{пн}}$ по всем типам почвы	0,45	0,35	0,17	0,30	0,16	0,10	0,04

Полученные данные по коэффициенту стока на парах и для посевов различных культур позволили определить коэффициенты снижения стока, т. е. эти показатели и являются коэффициентами проективного покрытия почвы $K_{\text{пн}}$ (таблицы 108, 109).

Таблица 108 – Поправочные коэффициенты снижения поверхностного стока в зависимости от степени проективного покрытия поверхности почвы культурными растениями

Вариант опыта	Коэффициенты стока у различных культур и проективное покрытие поверхности почвы, %							Коэффициенты снижения стока $K_{\text{пр}}$ от размеров проективного покрытия по культурам						
	Пар	Одно-летние травы, 40–60 %	Яровые колосовые, 20–40 %	Пропашные			Много-летние травы, 60–80 %	Пар	Одно-летние травы, 40–60 %	Яровые колосовые, 20–40 %	Пропашные			Много-летние травы, 60–80 %
				10–20 %	20–30 %	30–40 %					10–20 %	20–30 %	30–40 %	
1.1	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0
1.2	0,16	0,033	0,11	0,12	0,11	0,05	0,012	1,0	0,206	0,688	0,688	0,688	0,313	0,075
1.3	0,12	0,040	0,12	0,10	0,08	0,05	0,011	1,0	0,333	0,833	0,833	0,667	0,417	0,092
1.4	0,15	0,047	0,14	0,21	0,07	0,07	0,013	1,0	0,313	0,933	0,933	0,467	0,467	0,087
2.1	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0
2.2	0,24	0,032	0,11	0,15	0,14	0,05	0,011	1,0	0,133	0,458	0,458	0,583	0,208	0,046
2.3	0,41	0,052	0,16	0,21	0,19	0,08	0,016	1,0	0,127	0,390	0,390	0,463	0,195	0,039
2.4	0,35	0,043	0,13	0,21	0,16	0,07	0,013	1,0	0,123	0,371	0,371	0,457	0,200	0,037
3.1	0,05	0,004	0,02	0,01	0,01	0,01	0,001	1,0	0,080	0,400	0,400	0,200	0,200	0,020
3.2	0,65	0,065	0,2	0,30	0,24	0,10	0,02	1,0	0,100	0,308	0,308	0,369	0,154	0,031
3.3	0,62	0,046	0,19	0,29	0,23	0,09	0,021	1,0	0,074	0,306	0,306	0,371	0,145	0,034
3.4	0,53	0,055	0,16	0,24	0,20	0,08	0,02	1,0	0,104	0,302	0,302	0,377	0,151	0,038
4.1	0,05	0,004	0,02	0,03	0,024	0,01	0,01	1,0	0,080	0,400	0,600	0,480	0,200	0,200
4.2	0,65	0,050	0,15	0,21	0,18	0,07	0,015	1,0	0,077	0,231	0,231	0,277	0,108	0,023
4.3	0,81	0,056	0,17	0,27	0,20	0,09	0,018	1,0	0,069	0,210	0,210	0,247	0,111	0,022
4.4	0,79	0,043	0,14	0,18	0,15	0,07	0,013	1,0	0,054	0,177	0,177	0,190	0,089	0,016
Средневзвешенный поправочный коэффициент на степень проективного покрытия поверхности почвы культурными растениями $K_{\text{пр}}$								1,0	0,117	0,376	0,388	0,365	0,185	0,047
Примечание – $K_{\text{пр}}$ на парах принят за единицу.														

Таблица 109 – Поправочные коэффициенты на покрытие растениями поверхности почвы

Тип почвы	Проективное покрытие растениями поверхности почвы, %						
	Пропашные			Яровые колосовые, 30–40 %	Озимые колосовые, 30–50 %	Однолетние травы, 40–60 %	Многолет- ные травы, 60–80 %
	10–20 %	20–30 %	30–40 %				
Чернозем обыкновенный	0,43	0,35	0,16	0,30	0,16	0,11	0,03
Чернозем южный	0,45	0,36	0,14	0,31	0,17	0,07	0
Светло-каштановые	0,45	0,36	0,15	0,28	0,15	0,11	0,03
Темно-серая лесная	0,47	0,37	0,15	0,31	0,07	0,10	0,03
Бурые полупустынные	0,47	0,34	0,16	0,31	0,16	0,11	0,03
Дерново-подзолистые	0,45	0,34	0,28	0,29	0,24	0,12	0,09
Примечание – $K_{\text{ин}}$ на парах принят за единицу.							

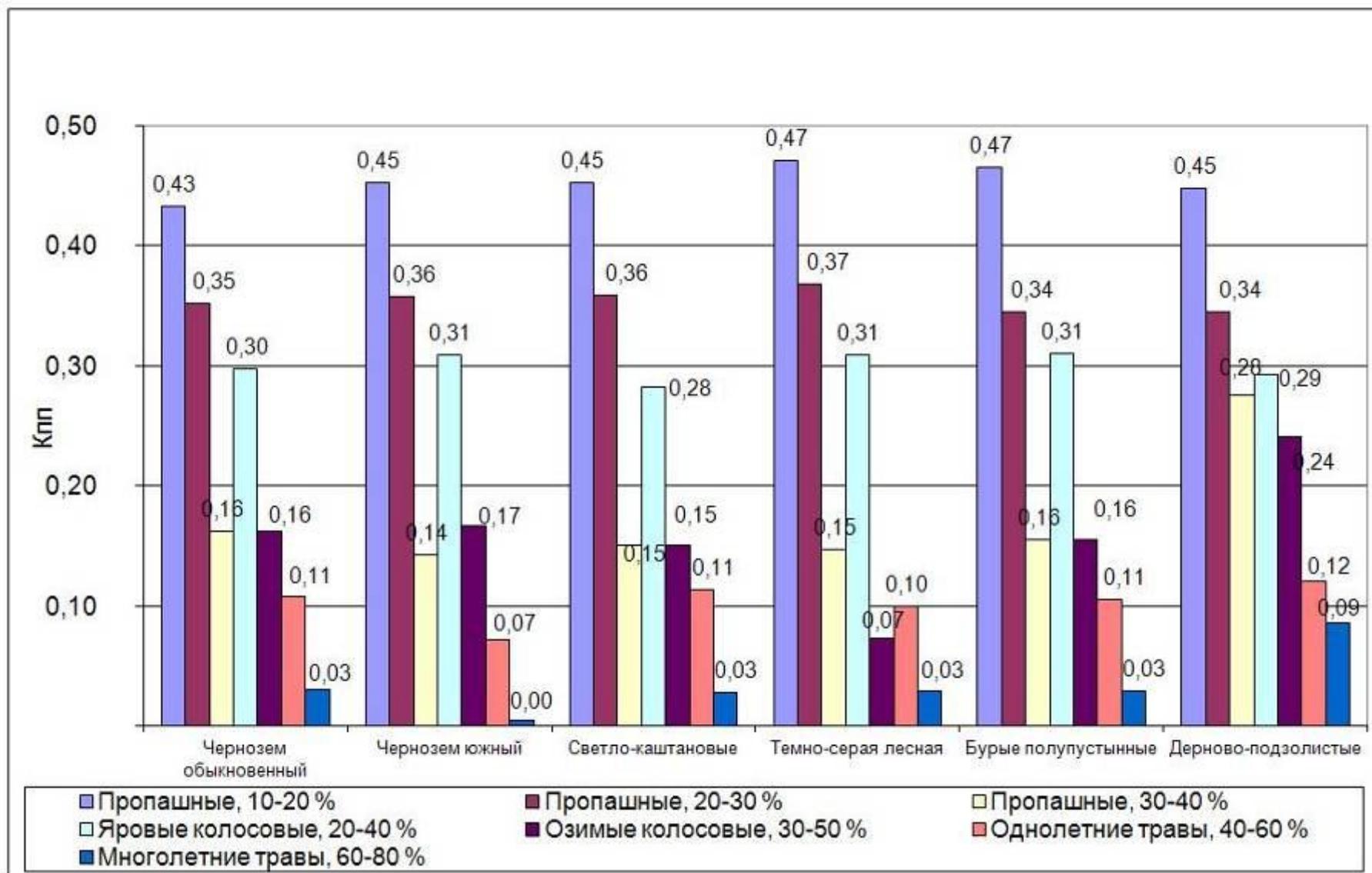


Рисунок 117 – Величина проективного покрытия поверхности почвы различными культурными растениями

По полученным выше коэффициентам $K_{\text{пр}}$ на различных типах почвы при различных показателях проективного покрытия получены кривые и зависимости, приведенные на рисунке 118.

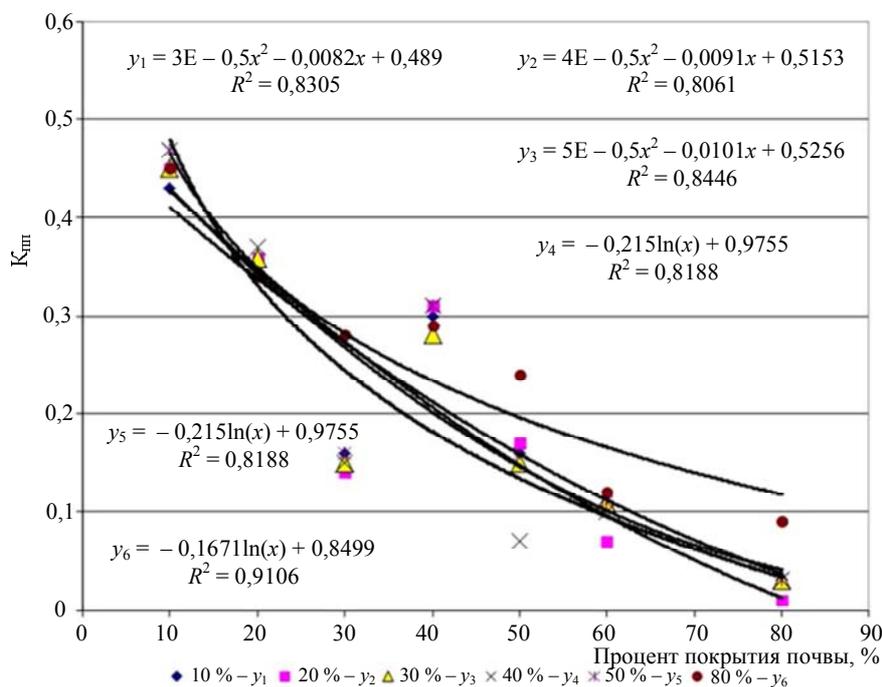


Рисунок 118 – Коэффициенты $K_{\text{пр}}$ в зависимости от типа почвы и проективного покрытия

На рисунке 119 приводится уравнение связи $K_{\text{пр}}$ и процента проективного покрытия почвы. Уравнение связи имеет высокий коэффициент детерминации $R^2 = 0,82$ и вид:

$$y = -0,1906 \ln(x) + 0,9002, \quad R^2 = 0,82. \quad (50)$$

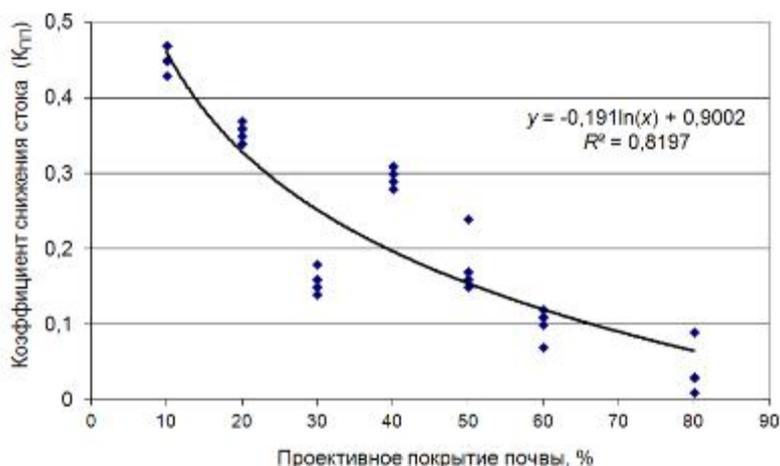


Рисунок 119 – Влияние проективного покрытия растениями поверхности почвы на величину поверхностного стока

Таким образом, исследования показали, что тип почвы не оказывает существенного влияния на коэффициент проективного покрытия, поэтому полученные коэффициенты проективного покрытия по усредненным данным могут быть приме-

нимы при расчетах компенсации поверхностного стока в зависимости от проективного покрытия. Полученные зависимости будут использованы для редактирования поправочных коэффициентов $K_{\text{мп}}$ и при разработке автоматизированного программного комплекса расчета ущерба от поверхностного стока с земель сельскохозяйственного назначения.

5.6 Почвоохранные мероприятия и компенсационные коэффициенты, снижающие объем поверхностного стока

В последние десятилетия разрабатываемые системы земледелия в большинстве регионов России имеют обязательную привязку к агроландшафтам. Другими словами, если ранее системы земледелия разрабатывались для больших массивов без учета уклонов поверхности почвы, расчлененности овражной сетью, наличия лесомелиоративных, гидромелиоративных и других приемов, обеспечивающих снижение дефляции, эрозии, а также снижение плодородия почвы из-за других деградационных процессов, то сейчас системы земледелия разрабатываются с учетом особенностей различных типов агроландшафтов. Каждому типу агроландшафтов присущи свои исходные показатели. В то же время основными показателями, определяющими объем поверхностного стока, являются уклоны поверхности почвы и применяемые почвоохранные мероприятия.

Анализ существующей классификации типов агроландшафтов показал, что во всех типах выделяются три агроландшафтные полосы, на которых проводится различный комплекс почвоохранных мероприятий в зависимости от потенциальной опасности эрозии. Наиболее значимым показателем, влияющим на объем стока и смыв почвы, является уклон местности. Обобщение имеющихся литературных и собственных исследований показало, что агроландшафтные полосы можно объединить по уклону поверхности. Полученные данные позволили получить уравнения связи массы смываемой почвы по агроландшафтным полосам для талых и дождевых вод с уплотненной и рыхлой пашни (таблица 110).

Таблица 110 – Масса смыва почвы с поверхностным стоком на агроландшафтах, пар

Агроландшафтная полоса	Крутизна склона, град.	Масса смыва почвы, т/га	
		Уплотненная пашня	Рыхлая пашня
Талые воды			
1-я приводораздельная	0,5–2,5	$W_{\text{п}} = -2,93354 + 0,17607I - 0,54931a + 1,83138O_{\text{т}}$, при $R^2 = 0,87$	$W_{\text{п}} = 2,03527 - 0,36741I - 0,43363a + 1,826O_{\text{т}}$ $R^2 = 0,86$
2-я склоновая	2,6–5,0		
3-я присетьевая	Более 5,0		
Дождевые воды			
1-я приводораздельная	0,5–2,5	$W_{\text{п}} = -34,5025 + 9,7660 \cdot I + 10,5448 \cdot d + 7,0264 \cdot P_{\text{ин}}$, при $R^2 = 0,92$	
2-я склоновая	2,6–5,0		
3-я присетьевая	Более 5,0		
Балки, овраги, пруды и пр.	–	–	Осаждение твердого стока
Примечание – $W_{\text{п}}$ – масса смываемой почвы, т/га; I – уклон, град; a – запасы воды в снеге, мм; $O_{\text{т}}$ – объем стока талых вод, м ³ /га; d – водопроницаемость почвы, мм/мин; $P_{\text{ин}}$ – интенсивность дождя, мм/мин.			

Полученные связи для пара имеют тесную связь (коэффициент детерминации 0,86–0,92) и могут быть применены для расчета объема смыва почвы, и если масса смытой почвы превышает экологический порог, то на таких землях применяют компенсационные мероприятия, обеспечивающие снижение поверхностного стока.

На объем поверхностного стока, поступающего непосредственно в водотоки (постоянные - реки или временные - овраги и балки), влияет удаленность участка водосбора (поля, севооборота) от водотока. Анализ имеющихся данных в литературе и собственные наблюдения позволили получить уравнение с тесной связью (коэффициент детерминации $R^2=0,93$), которое представлено на рисунке 120.

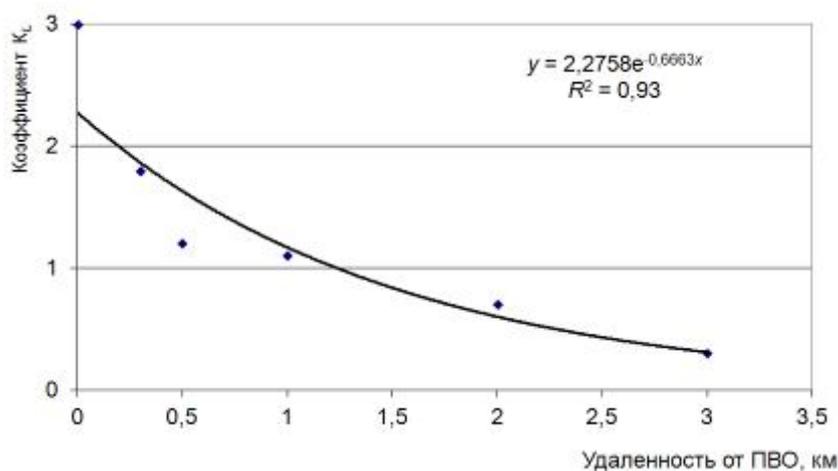


Рисунок 120 – Коэффициент K_L отражающий влияние удаленности части водосбора на объем поверхностного стока, попадающего в водоток

Поправочный компенсационный коэффициент K_L определяется по уравнению вида:

$$K_L = 2,2758 \cdot e^{-0,6663x} \quad (51)$$

Другим показателем, характеризующим состояние агроландшафта и склонность к эрозии, является показатель насыщенности территории оврагами. Он определяется как отношение длины оврагов по тальвегу к площади водосбора или части водосбора, выражается в км/км². Полученная зависимость и коэффициенты детерминации приводятся на рисунке 121.

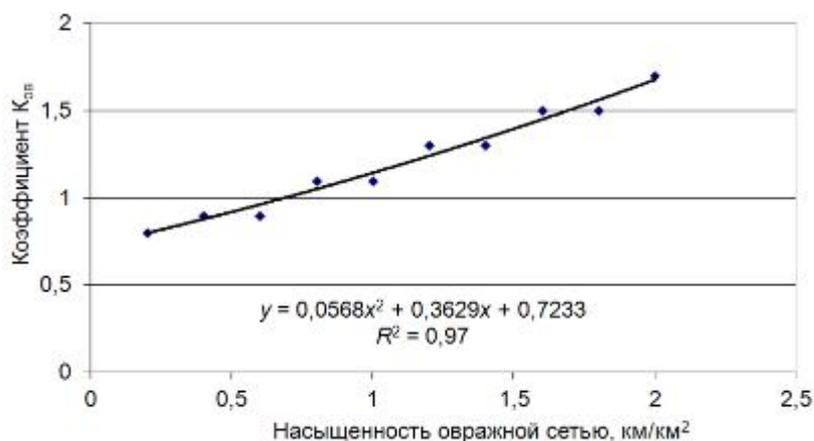


Рисунок 121 – Поправочный компенсационный коэффициент, характеризующий влияние насыщенности агроландшафта овражной сетью на поверхностный сток

Наряду с агротехническими способами регулирования объемов поверхностного стока большое внимание отводится лесомелиорациям. На склонах с большими уклонами стокорегулирующие лесополосы устраиваются шириной 10–12 м и расстоянием друг от друга от 150 до 700 м и более в зависимости от уклона поверхности почвы, эродирующей способности почвы, количества осадков и поверхностного стока, применяемых агротехнических и других мероприятий, способствующих снижению смыва почвы до экологически допустимых норм. Полученная связь расстояния между стокорегулирующими лесными полосами (шириной 10–12 м) на сельхозугодьях (между полями) приводится на рисунке 122 и выражается уравнением вида:

$$Y = 0,0012 \cdot x + 0,1477, \quad R^2 = 0,92. \quad (52)$$

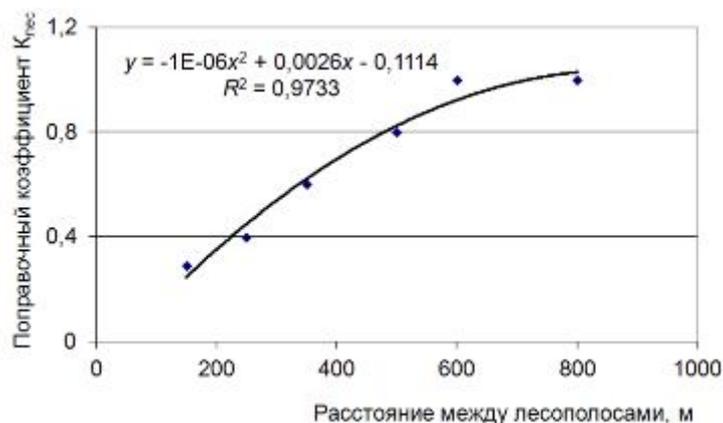


Рисунок 122 – Поправочный компенсационный коэффициент $K_{лес}$, характеризующий влияние стокорегулирующих лесных полос на объем поверхностного стока

На сложных участках рельефа, куда относятся верховье балок и оврагов, где формируются временные водотоки, в качестве компенсационных мероприятий, значительно снижающих сток, являются прибалочные лесные полосы различной ширины. Нами проводились наблюдения на лесополосах от 10 до 30 м шириной. На рисунке 123 приводятся результаты анализа связи ширины лесополос и поверхностного стока. Уравнение связи имеет вид:

$$Y = -0,0003 \cdot x^2 - 0,0095 \cdot x + 1,0133, \quad R^2 = 0,90 \quad (53)$$

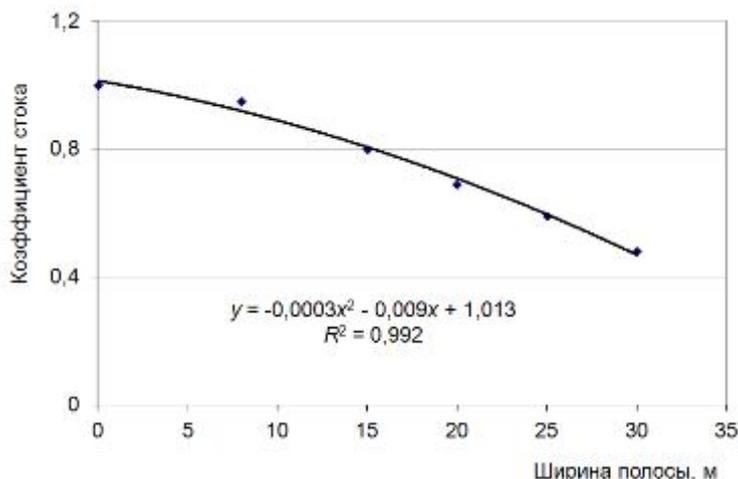


Рисунок 123 – Поправочный компенсационный коэффициент $K_{лес\ прибал.}$, характеризующий влияние ширины стокорегулирующих прибалочных лесных полос на объем поверхностного стока

Поправочный компенсационный коэффициент прибалочных лесных полос ($K_{\text{лес. прибал}}$), учитывается для полей, прилегающих к балкам, оврагам и прочим объектам, а поправочный компенсационный коэффициент $K_{\text{лес}}$ учитывается для полевых лесных (таблица 111).

Таблица 111 – Поправочный компенсационный коэффициент стока $K_{\text{лес}}$ на виды лесомелиоративных мероприятий

Лесомелиоративные мероприятия	$K_{\text{лес}}$	Уравнение регрессии
Расстояние между стокорегулирующими лесными полосами на сельхозугодьях, между полями (шириной 10–12 м) (X)		$K_{\text{лес. полевые}}$
150 м	0,28	$K_{\text{лес}} = 0,0013 \cdot x + 0,0864,$ $R^2 = 0,98$
250–300 м	0,48	
301–400 м	0,61	
401–600 м	0,87	
700 м и более	1,00	
Ширина прибалочных лесных полос, учитывается для полей прилегающих к оврагам, балкам и другим водотокам		$K_{\text{лес. прибал.}}$
25–30 м	0,48	$K_{\text{лес. прибал.}} = -0,0183 \cdot x +$ $+1,0714,$ $R^2 = 0,91$
20–24,9 м	0,59	
15–19,9 м	0,69	
10–14,9 м	0,80	
Отсутствие лесных полос	1,0	

Поправочные компенсационные коэффициенты к выносу биогенных элементов при применении простейших гидротехнических сооружений приведены в таблице 112.

Таблица 112 – Поправочные коэффициенты к выносу биогенных элементов при применении простейших гидротехнических сооружений

Простейшие гидротехнические сооружения	$K_{\text{ГТС}}$
Валы-террасы на пашне через 32,4–36 м	0,20
Валы-канавы на пашне по горизонталям рельефа через 150–200 м	0,15
Стокорегулирующие лесные полосы с валами через 250–300 м	0,10
Стокорегулирующие лесные полосы с валами-канавами через 250–300 м	0,05
Отсутствие ГТС	1,0
Примечание – Коэффициенты будут уточняться в дальнейших исследованиях.	

5.7 Влияние способов основной обработки почвы на поверхностный сток и эрозию почвы

Учитывая современные тенденции развития земледелия, основанные на адаптивном характере приемов и способов реализации агротехники, в каждом регионе существуют специфические особенности использования земельных ресурсов. В районах интенсивного проявления эрозии они должны быть основаны на максимальном выполнении основной обработкой почвозащитной и стокорегулирующей функций. Многолетние исследования влияния способов обработки почвы на сток

талых и дождевых вод, проведенные Е. В. Полуэктовым, показали высокую эффективность применения чизелевания [208]. Для изучения почвозащитной эффективности различных способов обработки в зоне сильного проявления эрозии (северо-запад Ростовской области) в период с 1999 по 2002 г. были проведены исследования по следующей схеме:

- 1 вариант – отвальная обработка на глубину 20–22 см (плугом ПЛН-4-35);
- 2 вариант – мелкое рыхление на глубину 10–12 см (АКП-2.5);
- 3 вариант – чизельная обработка на глубину 20–22 см (ПЧ-4.5);
- 4 вариант – мелкая отвальная обработка на глубину 14–17 см (плугом ПЛН-4-35);
- 5 вариант – плоскорезная обработка на глубину 20–22 см (КПГ-250).

Почвенный покров опытного участка представлен черноземом южным среднемоощным слабо- и среднесмытым тяжелосуглинистым на лессовидных породах.

После проведения основной обработки максимальное количество стерни (предшественник – озимая пшеница) сохранилось на варианте чизельная обработка (таблица 113).

Таблица 113 – Оставшееся количество стерни после проведения основной обработки (среднее за три года)

Вариант опыта	Количество стерни		Итого оставшейся стерни
	стоячей	полегшей	
До обработки	789	–	–
Плоскорезная	283	91	374
Чизельная	156	324	480
Мелкое рыхление	357	79	436

В шт./м²

При плоскорезной обработке ее осталось на 30 % меньше, чем на чизельной, а при мелком рыхлении 436 шт./м². На отвальных обработках растительные остатки все заделывались в почву.

Зимы в годы исследования были малоснежными. В среднем за три года мощность снежного покрова на полях не превышала 20 см. Минимальная высота снега наблюдались на варианте мелкой отвальной обработки – 12,5 см, на варианте с мелким рыхлением и плоскорезной обработкой эта величина составила соответственно 16,9 и 16,7 см, что выше контроля на 4 см.

Накопление снежного покрова тесно связано с наличием растительных остатков и состоянием гребнистости поверхности пашни (рисунок 124). Наибольший коэффициент гребнистости пашни был на варианте чизельной обработки – 1,24; на плоскорезной зяби он равнялся 1,17; на контроле и мелкой отвальной обработках – в пределах 1,06–1,09; минимальным коэффициент был на варианте с мелким рыхлением – 1,03.

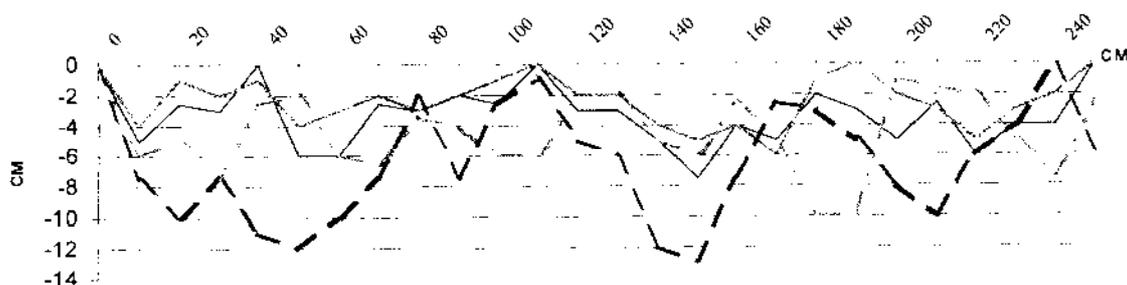


Рисунок 124 – Схема гребнистости поверхности пашни

Из представленных данных следует, что наиболее «гладкая» поверхность пашни оказалась на варианте с мелким рыхлением. Чизельная обработка создавала максимальное количество микронеровностей (таблица 114).

Таблица 114 – Содержание влаги в слое почвы 0–50 см перед стоком талых вод
В %

Слой почвы, см	Отвальная	Мелкое рыхление	Чизельная	Мелкая отвальная	Плоскорезная
0–5	38,6	36,9	36,1	35,3	34,1
5–10	48,6	50,0	47,4	48,7	48,1
10–20	36,9	34,2	34,2	31,6	37,4
20–30	31,2	31,1	31,1	31,4	31,2
30–40	28,5	27,5	27,5	26,1	26,5
40–50	25,5	26,6	26,6	25,8	26,3

Формирование поверхностного стока зависит от погодных условий осенне-зимнего периода, которые приводят к неодинаковой глубине промерзания почвы, образованию на ее поверхности во время длительных зимних оттепелей ледяной корки и другим изменениям, оказывающим существенное влияние на скорость инфильтрации воды в период снеготаяния и формирования основных запасов влаги в почве. Гидрометеорологические условия формирования стока талых вод с зяби, обработанной различными орудиями, в годы исследования складывались различно.

Декабрь 1999 года сопровождался оттепелями. В январе снег, который выпал ранее, практически растаял без образования стока. Следующие два месяца были теплыми. В январе выпало 25 мм, в феврале – 20 мм в основном в виде жидких осадков. Частые оттепели способствовали насыщению верхнего слоя почвы влагой.

Наиболее насыщенным влагой оказался слой почвы на глубине 5–10 см на участках мелкого рыхления, меньше всего влаги содержалось в этом слое после чизельной обработки. Более рыхлое сложение на вариантах чизельной, плоскорезной и отвальной обработках способствовали более быстрому просачиванию влаги осадков в глубь почвы.

В первой декаде марта ударили морозы и выпал снег, мощность снежного покрова достигла 12–15 см, быстрое нарастание положительных температур привело к таянию снега. Переувлажненный верхний 0–10 см слой почвы оказался на какое-то время водонепроницаемым и способствовал формированию стока талых вод.

Сток талых вод начали наблюдать с 7 марта, когда запасы воды в снеге колебались в пределах 25–40 мм, и продолжался в течение 10 дней. По времени начало образования стока начиналось около 13 часов, когда температура воздуха повышалась до плюс 5 °С, и продолжался в течение 3–4 часов.

Установлено, что максимальный поверхностный сток талых вод формировался на участках с мелким рыхлением и составил 22 мм, на контроле – 14 мм, на мелкой отвальной обработки – 16 мм. При проведении чизельной и плоскорезной обработок поверхностный сток отсутствовал (таблица 115)

Таблица 115 – Стока талых вод и смыв почвы, 1999–2000 гг.

Вариант обработки	Запасы воды в снеге, мм	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
1	26	14	0,54	0,5
2	34	22	0,65	0,1
3	39	0	0	0
4	25	16	0,64	0,6
5	33	0	0	0

Коэффициент стока наибольшим был на вариантах мелкого рыхления и мелкой отвальной обработки и составил соответственно 0,64 и 0,65. На контроле коэффициент оказался на 20 % меньше. Это означает, что часть талой воды впиталась в почву. На вариантах чизельной и плоскорезной обработки вся влага, накопленная в снеге, просочилась в почву.

Поверхностный сток талых вод вызвал неодинаковый смыв почвы по вариантам. Максимальным он был на варианте с мелкой отвальной обработкой – 0,6 т/га, на контроле смыв почвы составил 0,5 т/га, на варианте с мелким рыхлением – 0,1 т/га.

В зимний период 2000–2001 гг. осадки выпадали преимущественно в виде дождей. Определение характера увлажненности верхнего 0–50 см слоя почвы по различным способам основной обработки (25.02.2001) показало, что практически на всех вариантах наблюдается значительное различие (9,0–12,2 %) в содержании влаги между 0–5 и 5–10 сантиметровыми слоями почвы. Далее с глубины 10–20 см идет постоянное снижение количества просочившейся на этот период влаги (таблица 116).

Таблица 116 – Содержание влаги в слое почвы 0–50 см перед стоком дождевых вод

Слой почвы, см	В %				
	Отвальная	Мелкое рыхление	Чизельная	Мелкая отвальная	Плоскорезная
0–5	37,6	38,1	36,3	36,2	36,7
5–10	46,6	47,2	48,5	46,2	47,5
10–20	36,4	34,2	36,5	35,2	36,2
20–30	34,2	33,5	35,0	33,1	34,1
30–40	30,1	29,4	32,1	30,0	31,5
40–50	26,7	25,0	30,0	30,0	30,1

Перенасыщенность влагой почвы с поверхности на фоне чередования кратковременных оттепелей и морозной погоды привело к образованию в конце февраля на поверхности почвы ледяной корки. Первого марта в течение одного часа выпали жидкие осадки суммой 10 мм и интенсивностью около 0,2 мм/мин. Температура воздуха приближалась к 0 °С. В результате сложившихся условий сформировался поверхностный сток: максимальный на варианте с мелким рыхлением – 8 мм, минимальный на делянках с чизельной обработкой – 2 мм (таблица 117). На контроле величина поверхностного стока составила 6, плоскорезной зяби – 4 мм.

Таблица 117 – Сток дождевых вод и смыв почвы, 2000–2001 гг.

Вариант обработки	Сумма осадков, мм	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв, т/га
1	10	6	0,6	0,30
2	10	8	0,8	0,10
3	10	2	0,2	0,05
4	10	7	0,7	0,50
5	10	4	0,4	0,07

Коэффициент стока наибольшей величины достиг при проведении мелкого рыхления – 0,8, самый низкий – чизельной и плоскорезной – соответственно 0,2 и 0,4.

Смыв почвы был незначительным на варианте с мелкой отвальной обработкой – 0,5 т/га, что превысило контроль на 0,2 т. Хотя на варианте с мелким рыхлением сток был максимальный, смыв почвы не превысил 0,1 т/га. Меньше всего было смыто почвы на делянках с чизельной обработкой – 0,05 т/га.

После декабрьских и январских морозов 2002 г., сменившихся глубокой и продолжительной оттепелью к концу зимы поверхность почвы полностью оттаяла. Осадки, выпавшие в виде дождя в первых числах марта в количестве 25 мм, не сформировали поверхностный сток. Вся влага впиталась в почву.

Способы основной обработки оказывают существенное влияние на величину водопроницаемости. От нее во многом зависит интенсивность эрозионных процессов, характер накопления влаги в почве.

Водопропускную способность почвы в зависимости от способов обработки определяли в динамике по сезонам (осень, весна, лето). Осенью водопроницаемость определяли в конце октября, когда почва «осела» после основной обработки. Верхний слой почвы был увлажнен до 29–32 %. Температура воздуха – плюс 10 °С и водопроницаемость по шкале Н. А. Качинского характеризовалась как хорошая, но несколько различалась в зависимости от способов обработки (таблица 118).

Таблица 118 – Водопроницаемость почвы (осень, 1999–2001 гг.)

В мм/мин

Время наблюдения, ч	Вариант				
	отвальная	мелкое рыхление	чизельная	мелкая отвальная	плоскорезная
1	2,80	2,00	1,90	2,10	2,00
2	2,10	1,70	1,80	1,50	1,70
3	1,40	1,20	1,40	1,10	1,30
Среднее за 3 ч	2,10	1,63	1,70	1,57	1,67

Из представленных данных следует, что благодаря более рыхлому строению пахотного слоя максимальная водопропускная способность как в первый час, так в среднем за 3 часа наблюдений отмечена на контроле 2,10 мм/мин, минимальная – на участках с мелкой отвальной вспашкой и рыхлением АКП-2,5 соответственно 1,57 и 1,63 мм/мин.

Особый интерес представляют результаты исследований по водопроницаемости почвы в холодный период во время стока талых и дождевых вод. Интенсивность водопроницаемости воды в мерзлую почву во многом обусловлено влажностью и льдистостью ее верхнего слоя. Чем выше влажность, тем с меньшей скоростью вода инфильтруется через почву (таблица 119) [209].

Таблица 119 – Водопроницаемость почвы (2000, 2002 гг.)

В мм/мин

Время наблюдения, ч	Вариант				
	отвальная	мелкое рыхление	чизельная	мелкая отвальная	плоскорезная
1	0,35	0,29	0,40	0,32	0,38
2	0,20	0,19	0,36	0,20	0,33
Среднее за 2 ч	0,28	0,24	0,38	0,26	0,36

В течение исследуемого нами периода складывались различные погодные условия, когда возникали предпосылки формирования поверхностного стока. В конце февраля 2000 и 2002 гг. в результате оттепелей верхний слой почвы был талым и переувлажненным с влажностью 38–40 %. По Н. А. Качинскому водопроницаемость – неудовлетворительная и варьировала в пределах 0,24–0,38 мм/мин в среднем за 2 часа.

Максимальной она оказалась на варианте с чизельной обработкой 0,38 мм/мин, меньше всего воды пропускала зябь, обработанная АКП-2,5 на 10–12 см и отвально на 14–16 см – 0,24–0,26 мм/мин.

В конце февраля 2001 г. в результате чередования оттепелей и морозов на поверхности почвы сформировалась ледяная корка. Переувлажненный пахотный слой содержал до 38–48 % влаги. Температура воздуха в момент определения водопроницаемости составила – 1 °С (таблица 120).

Таблица 120 – Водопроницаемость почвы (2001 г.)

Время наблюдения, ч	Вариант				
	отвальная	мелкое рыхление	чизельная	мелкая отвальная	плоскорезная
1	0,08	0,06	0,11	0,07	0,09
2	0,03	0,02	0,05	0,02	0,04
Среднее за 2 ч	0,06	0,04	0,08	0,05	0,07

Наибольшая водопроницающая способность сложилась на делянках с чизельной обработкой – 0,08 мм/мин на контроле эта величина составила 0,06 мм/мин. Наименьшая скорость инфильтрации была на делянках с мелким рыхлением – 0,04 мм/мин. На вариантах с мелкой и плоскорезной обработками она характеризовалась промежуточными величинами – 0,05 и 0,07 мм/мин.

Самая низкая водопроницаемость была на фоне мелкого рыхления, где глубина обработки минимальная (10–12 см). На вариантах, где глубина обработки составила 20–22 см (чизельная, плоскорезная и отвальная), она была в 1,5 раз выше, что связано с меньшей плотностью сложения пахотного слоя и большим количеством межагрегатных пор.

На инфильтрацию в зимний период также влияет глубина промерзания почвы. На талой почве, хотя бы местами, сток не формируется. На сухой почве (12–16 %) вода хорошо просачивается. Поры в сухой почве свободны ото льда. Интенсивное просачивание в таких условиях сохраняется, если исключить сильное охлаждение почвы (таблица 121).

Таблица 121 – Глубина промерзания почвы (перед стоком талых вод)

Вариант обработок	Глубина, см			
	2000 г.	2001 г.	2002 г.	Средняя
1	35	20	25	27
2	31	15	17	21
3	30	13	15	19
4	32	18	23	24
5	30	15	16	20

Перед прохождением стока талых вод глубина промерзания почвы колебалась от 35 см в 2000 г до 13–15 см в 2001 г.

В среднем за три года наиболее глубоко промерзла почва на контроле – 27 см, менее всего на варианте с чизельной обработкой – 19 см. При проведении мелкого рыхления и плоскорезной обработки эта величина составила соответственно 21 и 20 см. На глубину промерзания в значительной степени повлияли растительные остатки, накапливающие больше снега.

Так как водопроницаемость мерзлых почв зависит и от температуры почвы, то наблюдения за изменением температурного режима почвы проводились на глубине 10 см (таблица 122).

В 2001 г. температура почвы на этой глубине в последней декаде февраля была минимальная на варианте чизельной обработки и в среднем составила минус 5,5 °С. Самая «холодная» почва была на отвальных обработках.

Таблица 122 – Температура почвы на глубине 10 см

Вариант обработок	Год	21.02–28.02	01.03–10.03	11.03–15.03
1	2001	–6,6	1,0	4,8
	2002	4,0	4,0	4,6
	Среднее	–1,3	2,5	4,7
2	2001	–5,8	1,2	4,4
	2002	3,1	4,1	4,8
	Среднее	–1,4	2,7	4,6
3	2001	–5,3	1,3	4,0
	2002	3,0	3,5	3,9
	Среднее	–1,2	2,4	4,0
4	2001	–6,4	1,1	4,8
	2002	4,0	4,0	4,8
	Среднее	–1,2	2,6	4,8
5	2001	–5,7	0,8	4,1
	2002	3,0	3,6	4,1
	Среднее	–1,4	2,2	4,1

На разницу в температуре почвы между отвальными и безотвальными технологиями повлияли растительные остатки, которые снижали скорость ветра над поверхностью почвы, тем самым повышая температурный режим. Во второй декаде марта почва на контроле «теплее», чем на варианте чизельной обработки на 0,2 °С. Объясняется это тем, что безотвальные обработки обладают лучшей водопроницаемостью. Поскольку вода имеет значительно большую теплоемкость, чем почва, дополнительно задержанная влага может снижать нарастание температуры почвы. Это отчетливо видно по данным 2002 года, когда «теплый» февраль плавно перешел в такой же «теплый» март. На зяби, поднятой плоскорезом и чизелем, температура почвы была ниже 0,5–0,6 °С, чем на вариантах отвальных обработок.

Многочисленными исследованиями выявлена зависимость между стоком талых вод, величиной водопоглощения талых вод, влажностью и плотностью почвы. Методами математической статистики установлена зависимость слоя стока поверхностных вод от некоторых физических свойств почвы. На основании полученных данных (x_1 – коэффициент усвоения осадков в холодный период, г/см³, x_2 – плотность сложения слоя 0–30 см, г/см³, x_3 – содержание водопрочных агрегатов в слое 0–30 см, %, и x_4 – водопроницаемость почвы в холодный период, мм/мин) рассчитано их влияние на формирование стока. Сток рассматривался как функция всех вышеперечисленных физических свойств. Уравнение регрессии имеет следующий вид: $Y = -149,83 - 108,67 \cdot x_1 + 189,9 \cdot x_2 - 0,2 \cdot x_3 - 41,5 \cdot x_4$

Коэффициент множественной корреляции – 0,9 ± 0,1, то есть связь очень тесная. Уровень надежности 95 %.

Для оценки доли влияния каждого фактора на формирование стока провели путьевой анализ множественной регрессии по S. Wright [210]. В результате получены данные, представленные в таблице 123.

Незначительная коррелятивная связь между стоком и водопроницаемостью выразилась в сочетании высокого прямого эффекта водопроницаемости и косвенного эффекта коэффициента усвоения осадков холодного периода. Прямое и косвенное участие содержания водопрочных агрегатов в формирование стока незначимы,

а близкой к значимой отрицательная корреляция содержания водопрочных агрегатов со стоком в большей мере обусловлена косвенным эффектом коэффициентом усвоения осадков холодного периода и водопроницаемостью.

Таблица 123 – Путь анализ формирования поверхностного стока

Фактор	Путевой коэффициент				Коэффициент корреляции со стоком вод
	x_1	x_2	x_3	x_4	
Плотность сложения, г/см ³	0,770	-0,007	-0,280	-0,125	0,355
Содержание водопрочных агрегатов, %	0,053	-0,107	-0,282	-0,167	-0,503
Коэффициент усвоения осадков холодного периода	0,182	-0,03	-1,194	0,53	-0,506
Водопроницаемость, мм/мин	0,119	-0,022	0,781	-0,811	0,066

Таким образом, полученные путевые коэффициенты указывают на особую важность коэффициента усвоения осадков холодного периода и водопроницаемости, оказывающей их наибольший вклад в формирование стока в условиях проведенного опыта.

При рассмотрении стока как функции одного из физических свойств почвы, корреляционные отношения оказывались менее тесными (таблица 124).

Таблица 124 – Зависимость поверхностного стока от физических свойств

Аргумент	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Плотность сложения, г/см ³	$Y = 87,58 \cdot x_1 - 92,03$	$0,4 \pm 0,3$
Содержание водопрочных агрегатов, %	$Y = -0,97 \cdot x_1 - 54,50$	$0,5 \pm 0,2$
Коэффициент усвоения осадков холодного периода	$Y = -46,09 \cdot x_1 + 25,6$	$0,51 \pm 0,2$
Водопроницаемость, мм/мин	$Y = 3,38 \cdot x_1 + 7,31$	$0,07 \pm 0,3$

Парная корреляция между стоком и водопроницаемостью, между объемной массой и стоком незначима. В других парах – связь слабая. Наибольшая связь стока отмечена с коэффициентом усвоения осадков холодного периода. То есть формирование стока талых и дождевых вод зависит от совокупного воздействия всех факторов.

В летний период водопроницаемость определяли в конце июня (таблица 125). Содержание влаги в верхнем слое почвы колебалась в пределах 11–13 %.

Таблица 125 – Водопроницаемость почвы (лето, 2000–2002 гг.)

Время наблюдения, ч	Вариант				
	отвальная	мелкое рыхление	чизельная	мелкая отвальная	плоско-резная
1	3,92	3,61	4,22	3,85	4,01
2	3,51	3,12	3,91	3,11	3,67
3	2,45	2,01	2,95	2,05	2,65
Среднее за 3 ч	3,29	2,91	3,69	3,00	3,44

Было установлено, что водопроницаемость почвы на всех вариантах при летнем определении по сравнению с осенним увеличилась. На скорость инфильтрации повлияла незначительная влажность почвы, наличие трещин, образовавшихся в ре-

зультате иссушения, и уже достаточно развитая корневая система гороха. Наибольшую водопроницаемую способность почвы обеспечивала чизельная обработка, составив 3,69 мм/мин, что выше контроля на 0,4 мм/мин. Наименьшая она наблюдалась на мелком рыхлении – 2,91 мм/мин. Отметим, что в первый час определения водопроницаемости разница между вспашкой и чизельной обработкой составила 0,3 мм/мин, то к третьему часу она увеличилась до 0,5 мм/мин.

Таким образом, более высокий поверхностный сток формируется на варианте с мелким рыхлением почвы, минимальным – на зяби, обработанной чизелем и плоскорезом. Эти виды обработки почвы способствуют поглощению стока умеренной интенсивности, что повышает агроэкологическую эффективность приема. При наличии притертой ледяной корки сток слабой интенсивности формируется на всех изученных вариантах. Кинетическая энергия потока талых и дождевых вод вызывает неодинаковый смыв почвы на вариантах обработки зяби. Больше почвы смыто на вариантах с отвальной вспашкой на глубину 14–16 см – 05–0,6 т/га. Увеличение глубины обрабатываемого слоя до 20–22 см позволяет сократить смыв почвы на 15 %. Наличие стерни на поверхности почвы на вариантах, обработанных плоскорезом и чизелем, снижает смыв почвы на 90–100 %.

5.8 Влияние комплекса почвозащитных мероприятий на эрозию почвы на агроландшафтах Ростовской области

Ученые РосНИИПМ и НГМА проводили комплексные исследования состояния и влияния почвозащитных мероприятий на эрозию почвы на агроландшафтах Ростовской области [211], которые показали, что одним из факторов, способствующих стабилизации и сохранению плодородия земельных угодий, является разработка системы земледелия на основе исследований состояния агроландшафтов и выявление наиболее слабых звеньев, приводящих к деградации почвы и снижению урожайности сельскохозяйственных культур [212, 213].

Дефляционные процессы в виде пыльных бурь (ветровая эрозия) последний раз были зафиксированы в 1984 г. Тогда ими была охвачена практически вся пашня. В последующие годы пыльные бури локального значения (на песчаных и супесчаных почвах в поймах рек) имели место в 2003 г. За период проведения наших исследований (2005–2012 гг.) дефляция не проявлялась.

Проведенные нами исследования указывают на то, что процессы деградации почвы продолжаются. В почвах Константиновского района Ростовской области содержание гумуса за 47 лет снизилось в абсолютных величинах на 1,8 %, относительных – на 42 %. Это в значительной степени связано с особенностями климата: повысилась температура воздуха, уменьшилось число весенних паводков. Вместе с тем заметно увеличилось количество ливневых дождей, вызывающих смыв почвы. В немалой степени интенсивность потерь почвы связана с увеличением площадей, занятых чистым паром и пропашными культурами, т. е. то, что мы называем средоразрушающим фактором. И, наверное, самое главное – это невысокая культура земледелия и малые площади применения почвозащитных мероприятий. Как следствие всего этого увеличение площадей эродированных почв возросло с 34,9 до 48,6 % от площади сельхозугодий.

В задачи исследований входило проанализировать сложившуюся за последние 20–30 лет структуру посевных площадей и оценить с позиций влияния на состояние плодородия почв, изучить и дать оценку основным деградационным процессам, снижающим плодородие южных черноземов в северо-восточной сельскохозяйственной зоне Ростовской области, предложить пути создания культурных агро-

ландшафтов как важнейшей ресурсопроизводящей и средообразующей экосистемы на основе формирования рационального соотношения сельскохозяйственных угодий и подбора агротехнологий, адаптивных данной местности (почвенным, рельефным и хозяйственным условиям) и культивируемых видов растений, оценить с эколого-экономических позиций предложенную структуру соотношения угодий на уровне определенных типов агроландшафтов.

Программой комплексных исследований предусматривалось проведение пяти опытов.

В первом опыте изучались вопросы деградации почв Константиновского района в динамике с 1990 по 2007 г. по основным видам: дегумификация (пашня), эрозия (в т. ч. слабо-, средне- и сильно-), дефляция (в т. ч. слабо-, средне- и сильно-), засоление, переувлажнение.

Во втором опыте изучалось влияние крутизны склона на величину смыва почвы стоком талых вод. Опыт двухфакторный:

- фактор А – культура (агрофон): зябь отвальная (вспашка отвальная на глубину 20–22 см); зябь безотвальная (плоскорезная обработка, на глубину 16–18 см); озимая пшеница; эспарцет; люцерна;

- фактор Б – крутизна склона: крутизна склона 1,5–2,0°; крутизна склона 2,5–4°.

В третьем опыте изучалось влияние крутизны склона на величину смыва почвы стоком дождевых вод. Опыт двухфакторный:

- фактор А – культура (агрофон): чистый пар (вспашка отвальная на глубину 20–22 см); подсолнечник; озимая пшеница; эспарцет; люцерна;

- фактор Б – крутизна склона: вариант 1 – крутизна склона 1,5–2,0°; вариант 2 – крутизна склона 2,5–4°.

В четвертом опыте изучалось влияние облесенности различных типов агроландшафта на эрозию и смыв почвы. Опыт двухфакторный:

- фактор А – тип агроландшафта: плакорно-равнинный; ложбинно-балочный; овражно-полевой;

- фактор Б – облесенность территории: облесенный и открытый (не облесенный).

В пятом опыте изучалось влияние структуры сельхозугодий на экологическую устойчивость различных типов агроландшафтов. Опыт двухфакторный:

- фактор А – тип агроландшафта: плакорно-равнинный; ложбинно-балочный; овражно-полевой;

- фактор Б – структура сельхозугодий: распаханность территории; облесенность территории; защищенность территории лесными насаждениями; площади деградированных почв (в т. ч. несмытых и слабосмытых).

Исследованиями установлено, что оказывающими наибольшее влияние на состояние агроландшафтов являются распаханность сельскохозяйственных угодий, а также облесенность пашни и в целом сельхозугодий. По Ростовской области структура сельхозугодий в динамике за последние 25 лет изменилась (таблица 126). Площадь сельхозугодий сократилась с 8555,8 до 8541,7 тыс. га. Площадь пашни по отношению ко всем сельскохозяйственным угодьям сократилась на 539,1 тыс. га или на 6,2 %. В то же время естественных кормовых угодий увеличилось на 388,6 тыс. га. Также возросла площадь прочих сельскохозяйственных угодий на 136,4 тыс. га. Это можно объяснить сложившимися хозяйственно-экономическими условиями последних десятилетий.

Почвенный покров Константиновского района Ростовской области, где проводились исследования, испытывает на себе значительное количество негативных

воздействий, связанных как с особенностями природно-климатических факторов, так и с хозяйственной деятельностью человека. Площадь земель сельскохозяйственного назначения на 1 января 2008 года в административных границах района составила 197361 га. Основные виды деградации почвы приведены в таблице 127.

Таблица 126 – Динамика изменения структуры сельскохозяйственных угодий в Ростовской области

Вид сельхозугодия	Год		
	1985	1995	2011
Всего сельхозугодий, тыс. га	8555,8	8543,2	8541,7
в т. ч. пашни, тыс. га	6126,8	6059,6	5587,1
пашни от сельхозугодий, %	71,6	70,9	65,4
Естественных кормовых угодий, всего, тыс. га	2335,7	2394,9	2724,3
от сельхозугодий, %	27,3	28,0	26,3
Прочих сельхозугодий, тыс. га	93,9	88,7	230,3
Облесенность сельхозугодий, %	2,2	3,2	3,3

Таблица 127 – Основные виды деградаций почв Константиновского района

Вид деградации	Данные по годам, % от площади сельхозугодий		
	1990	2011	± %
Дегумификация (пашня)	89,1	95,6	6,5
Подвержены эрозии, всего	34,9	48,7	13,7
в т. ч. слабо-	24,2	31,2	6,9
средне-	6,7	10,5	3,8
сильно-	4,0	7,0	3
Дефляция всего	10,5	12,8	2,3
в т. ч. слабо-	8,2	9,3	1,1
средне-	1,9	2,6	0,7
сильно-	0,4	0,9	0,5
Засоленные	3,6	3,8	0,2
Переувлажненные	9,4	10,1	0,7

Как видно из таблицы 127, наиболее распространенным видом деградации является дегумификация. Анализ содержания гумуса в динамике показывает, что в 1960 году почвы Константиновского района содержали в среднем 4,3 % гумуса, в 2011 году – всего 2,5 %, т. е. за 51 год использования земель содержание гумуса в почве снизилось в абсолютных величинах на 1,8 %, в относительных – на 42 % (таблица 128).

Таблица 128 – Динамика содержания гумуса в пахотном слое на пашне

Наименование района	Год, %			
	1960	1987	1994	2011
Константиновский район	4,3	3,0	2,6	2,5

Основными причинами этого являются уменьшение вносимых органических и минеральных удобрений и усиление процессов эрозии и дефляции.

Так, площади сельхозугодий, подверженных эрозии, возросли с 1990 по 2011 г. на 6,9 % – с 34,9 до 48,6 тыс. га, дефляции – на 2,3 % – с 10,5 до 12,8 тыс. га. Этому в немалой степени способствует расчлененный рельеф местности, высокая распаханность территории, характер выпадения осадков, слабая противоэрозионная

устойчивость почв. Кроме того, увеличение площадей чистых паров и пропашных культур создавало условия для интенсивного развития эрозионных процессов при выпадении ливневых дождей в теплый период года.

Проявление эрозионных процессов от талых и дождевых вод изучалось на ключевых участках (полях) в базовом хозяйстве ОАО «Ленинский путь» Константиновского района Ростовской области как наиболее типичном, отражающем особенности природно-климатической ситуации и хозяйственной деятельности района в целом. Общая площадь землепользования хозяйства – 14636 га, из них сельскохозяйственные угодья занимают 12569 га (85,9 %), в том числе пашня 8959 га (61,2 %). Пашня расположена преимущественно на склоновых землях: до 1° – 2793 га, 1–2° – 3110 га, 3–5° – 3056 га. Древесно-кустарниковая растительность занимает площадь 1167 га (8,0 %), в том числе зеленые лесные насаждения – 232 га (1,85 %). Облесенность пашни – чуть более 1,5 %.

Ключевые участки, на которых проводились исследования, располагались на трех типах агроландшафта: 1) плакорно-равнинном, занимающем ровные участки местности и приводораздельные плато с крутизной склонов до 1° с основными видами деградации почвенного покрова – дегумификацией, дефляцией, переуплотнением; 2) ложбинно-балочном, к которому относятся придолинные, прибалочные склоны с крутизной более 1,5–2,0°, представляющие собой относительно самостоятельные обособленные водосборы с развитой сетью ложбин [214]. Данные земли состоят преимущественно из пахотных земель. Основные виды деградации почвенного покрова: эрозия, дегумификация, дефляция, переуплотнение, осолонцевание и др.; 3) овражно-полевом, занимающем межбалочные пространства со склонами различной крутизны и экспозиции, с овражно-балочным водосбором. Чаще всего это участки пашни с примыкающими к ним овражно-балочными землями, используемые под сенокосы и пастбища. Основной вид деградации почвенного покрова – водная эрозия. Развита дегумификация, переуплотнение.

Исследования стока талых вод в 2006 г. показали, что эрозионными процессами были охвачены практически все виды сельхозугодий, но в большей степени они проявились на пашне, особенно в том случае, когда она была лишена растительного покрова – зябь поднята отвальными плугами на глубину 20–22 см (таблица 129).

Таблица 129 – Смыв почвы на зяби и посевах сельскохозяйственных культур стоком талых вод

Культура или агрофон	Крутизна склона	
	1,5–2,0°	4,0–4,5°
Зябь отвальная (20–22 см)	14,5	26,9
Зябь безотвальная (плоскорезная, 16 см)	9,8	21,2
Озимая пшеница	4,7	9,5
Эспарцет	0	2,1
Люцерна	0	0,8

Как следует из представленных данных, величина смыва почвы достигала значительных размеров и увеличивалась по мере нарастания крутизны склона. Потери почвы на отвальной зяби на склоне 4–4,5° почти вдвое превышали потери на склонах до 2,0°. В том случае, если при подъеме зяби применялась плоскорезная обработка, величина смыва на склонах 1,5–2,0° сокращалась по отношению к отвальной вспашке на 32,5 % (т. е. на одну треть). С увеличением крутизны склона это преимущество заметно уменьшалось и уже на склонах 4–4,5° она составляла 21 %.

Получены данные по смыву почвы на посевах многолетних трав (эспарцет и люцерна). Если на склонах 1,5–2,0° смыва почвы визуальнo практически не наблюдалось, что совсем не исключает стока талых вод, то уже на склоне 4–4,5° на посевах эспарцета смыв составил около 3 т/га, а люцерны 0,8 т/га. Полученные результаты отражают биологические особенности данных культур, т. е. люцерна имеет более мощную корневую систему по отношению к эспарцету и способна лучше противостоять размывающему действию водных потоков.

В отличие от стока талых вод с повторяемостью процессов эрозии каждые 4–5 лет, эрозия от ливневых вод происходит ежегодно. При этом интенсивность смыва почвы дождевыми водами (ливнями) находилась в полной зависимости от величины покрытия поверхности почвы растительным покровом, степени задерживающей способности различных травостоев (таблица 130).

Таблица 130 – Смыв почвы на чистом пару и посевах сельскохозяйственных культур в период выпадения ливней, 2005–2007 гг.

В т/га

Культура или агрофон	Крутизна склона	
	1,5–2,0°	4,0–4,5°
2005 г.		
Чистый пар	10,9	36,4
Подсолнечник	4,9	12,7
Озимая пшеница	0,9	2,2
Эспарцет	0	0
Люцерна	0	0
2007 г.		
Чистый пар	14,8	49,7
Подсолнечник	5,7	22,4
Озимая пшеница	1,1	3,9
Эспарцет	0,3	1,2
Люцерна	0	0,3

Как видно из таблицы 130, максимальный смыв почвы наблюдался на полях, занятых чистым паром, причем величина смыва почвы резко увеличивалась по мере нарастания крутизны склона. Если на склонах до 2° смыв проявлялся в виде сети водороин глубиной от 3 до 4,5 см и шириной не более 16–19 см, то на склонах более 4° глубина размыва почвенного покрова была зафиксирована на уровне культиваторной «подошвы» – 6–7 см. Ширина водороин достигала 40–60 см, а в отдельных местах смыву были подвержены целые участки парового поля.

Значительные потери почвы были зафиксированы на полях, занятых подсолнечником, посеvy которого в июне 2005 г находились в фазе 2–3 листьев, а в июле 2007 г. – 5 листьев. Затенение поверхности почвы растениями уменьшало ударное воздействие капель на поверхность почвы и оказало существенное влияние на величину смыва [215]. По сравнению с чистым паром потери почвы сократились в 2,2–2,9 раза, интенсивность смыва находилась в полной зависимости от величины покрытия поверхности почвы растительным покровом. Если взять за единицу смыв почвы от ливневых дождей на чистом пару, то на посевах подсолнечника он составил в среднем 0,40, озимой пшенице – 0,07, посевах эспарцета – 0,02 и люцерны – 0,01. Подобные данные по влиянию различных сельскохозяйственных культур на смыв почвы от ливневых дождей приводят М. Н. Заславский (1987), Е. И. Рябов (1996), И. Н. Листопадов (2006), Е. В. Полуэктоv (2003).

Современная система адаптивно-ландшафтного земледелия предполагает решение вопросов разного уровня и направления в зависимости от создающихся условий и факторов, влияющих на них. В Константиновском районе в условиях достаточно сложного рельефа местности и многообразия деградационных процессов основным фактором является рельеф местности. В наибольшей степени он предопределяет облик и судьбу агроландшафта, способствует развитию эрозионных и дефляционных процессов, изменяя плодородие почв, влияя на продуктивность сельскохозяйственных культур и связанную с ними общую картину деградации почвенного покрова.

В результате проведенных работ для условий хозяйства были выделены следующие типы агроландшафтов: плакорно-равнинный, ложбинно-балочный, овражно-полевой, овражно-балочный и пойменный. Изучались плакорно-равнинный, ложбинно-балочный, овражно-полевой типы агроландшафта, которые занимают до 70 % площади хозяйства, в связи с чем на них были проведены основные исследования по определению оптимальности соотношения земельных сельскохозяйственных угодий [214].

Плакорно-равнинный тип агроландшафта имеет площадь 23,2 га, из которых 20,36 га – пашня, полевая защитная лесная полоса занимает 1,4 га, под полевыми дорогами занято 1,44 га. Ложбинно-балочный тип агроландшафта при общей площади 23,5 га располагает 17,9 га пашни. Под дорогами занято 1,6 га. Лесные насаждения представлены полевой защитной лесной полосой 0,48 га и двумя стокорегулирующими лесными полосами площадью 2,52 га. В овражно-полевом типе агроландшафта (общая площадь 23,4 га) в структуре сельскохозяйственных угодий пашня составляла 10,74 га, сенокосы и пастбища – 4,6 га, лесные полосы – 4,16 га. Площадь, занятая оврагами, – 2,3 га, под полевыми дорогами – 1,6 га.

С экологической точки зрения агроландшафты оцениваются как устойчивые и неустойчивые. Большую распаханность территории и посев однолетних культур, неспособных сдерживать эрозионные процессы, можно отнести к средоразрушающим факторам. Наоборот, снижают эрозию почвы и способствуют сохранению плодородия почвы многолетние травы и лесные насаждения, которые относят к средостабилизирующим факторам [216].

Полученные показатели использованы при исследованиях экологической устойчивости различных типов агроландшафтов (таблица 131).

Таблица 131 – Основные показатели экологической устойчивости на различных типах агроландшафта

Показатель	Тип агроландшафта		
	плакорно-равнинный	ложбинно-балочный	овражно-полевой
Распаханность территории, %	87,7	76,1	44,9
Облесенность территории, %	6,2	12,8	18,1
Облесенность пашни, %	7,1	16,8	41,1
Защищенность территории лесными насаждениями, %	100	82	57
Площади деградированных почв, %, в т. ч.	94,9	–	–
несмытых			
слабосмытых	5,1	54,0	37,4
среднесмытых	–	41,4	22,9
сильносмытых	–	4,6	29,8
очень сильносмытых	–	–	9,9
Экологическая устойчивость агроландшафта K_1	0,07	0,84	1,41

Данные таблицы 131 показывают, что распаханность территории связана в первую очередь с особенностями рельефа, формами и уклонами поверхности почвы. Наибольшая распаханность (87,7 %) наблюдается на плакорно-равнинном типе агроландшафта с уклонами до 1° и снижается до 44,9 % на овражно-полевым агроландшафте с уклонами более 5°.

С увеличением распаханности территории возникает потребность в увеличении площади лесных насаждений. Защищенность территории лесными насаждениями (по В. М. Ивонину) – это выраженное в процентах отношение суммарной площади зон мелиоративного влияния лесных насаждений к общей площади территории, на которой они расположены. Защищенность считается полной при ее величине 100 %; достаточно полной – при 99–80 %; недостаточно полной – при 79–50 %; неполной – при 49–20 % и отсутствующей – менее 20 %. По этой градации плакорно-равнинный агроландшафт имеет полную защищенность, а овражно-полевой – недостаточную защищенность.

Важность лесных полос подтверждают наблюдения на ложбинно-балочном агроландшафте. Они показали, что, например, в 2006 году при глубине снежного покрова 16–22 см и промерзании почвы на 75–77 см перед снеготаянием на посевах озимой пшеницы масса смытой почвы талыми водами на склоне 1,5–2,0° составила 0,6 т/га и увеличилась до 7,1 т/га при крутизне склона 3,5–4,0°. Значительная часть смытой почвы задержана лесополосами и залуженным участком, занимающим днище ложбины. Представленная система мероприятий в виде лесных полос и залуженного участка в наиболее проблемной части агроландшафта существенно уменьшила смыв почвы при стоке талых вод. В то же время на подобном участке без лесных полос смыв почвы при крутизне склона 1,8° и удаленности от водораздела 180 м составил 3,1 т/га, а на склоне в 4,0° и удаленности в 390 м он возрос до 10,8 т/га [216].

5.9 Вынос биогенных веществ с поверхностным стоком талых и дождевых вод

Расчет выноса биогенных веществ поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного назначения является одним из наиболее сложных задач, решаемых путем полевых исследований или косвенных методов их определения. В существующей научной литературе по определению ущерба или вредного воздействия на водные объекты содержание биогенных веществ определяется во всех случаях уже в водотоке (река) или водоприемнике (озеро). Очевидно, что концентрация биогенных веществ в поверхностных водных объектах зависит в большей степени: в период половодья от величины и качества поверхностного стока с поверхности земель сельскохозяйственного назначения, а в межень от грунтовых вод.

Обзор литературных источников и исследования авторов показывают, что на концентрацию биогенных веществ в стоке большое влияние оказывает их содержание в верхнем слое почвы.

Нами предлагается определение ущерба по косвенным показателям по величине стока и содержанию биогенных веществ в почве (по результатам анализа обследования почв или по картограммам хозяйств). В то же время исследования показывают, что подвижный фосфор и калий – относительно стойкие элементы в почве, и их значения изменяются от года к году до 10–15 %, то содержание азота в почве меняется быстро. Это объясняется тем, что растворимый азот в почве находится в нескольких формах и он очень подвижен, используется растениями, вымывается водой и испаряется в воздух.

В холодный период года и на переувлажненных землях в почве преобладает аммонийная форма азота, в то же время в теплый период года – часть аммония окисляется до нитратов и большая часть усваивается растениями.

Необходимо учесть, что в России довольно жесткие нормативы ПДК, например, ПДК NO_3 – 40 мг/дм³ (в Англии 50 мг/дм³), аммония – 0,39 мг/дм³ и нитритов – 0,08 мг/дм³, поэтому нами определялось их содержание в жидком стоке в холодное время года (весна) и летом. Так как в существующих в хозяйствах картограммах приводится только азот нитратный, наиболее распространенный в теплый период года, или нитрификационная способность почвы. Авторами также была установлена связь между содержанием различных форм азота и нитрификационной способностью почвы и в сравнении с легкогидролизуемым азотом.

Полевые исследования по изучению влияния содержания в почве основных биогенных веществ (азота, фосфора и калия) на их вынос с поверхностным стоком проводились на опытном участке п. Степной Ростовской области. Почвы представлены черноземом обыкновенным.

Расчетные дозы удобрений вносились в почву осенью и заделывались фрезой с таким расчетом, чтобы создать фон с различным содержанием азота, фосфора и калия в этом горизонте. На отдельных участках заложены варианты с различными дозами органических удобрений (полуперепревший навоз КРС). Внесенные удобрения на опытных участках заделывались в почву фрезой на глубину 18–20 см. Участок увлажнялся для лучшего растворения удобрений. Отбирались образцы почвы рядом со стоковой площадкой для определения содержания питательных элементов в почве (фон поля). Проводилось искусственное дождевание стоковой площадки и жидкий сток отбирался в емкости и измерялся. Затем проводились анализы почв и поверхностного стока по общепринятым методикам. Полученные результаты приводятся ниже (таблицы 132, 133).

Полученные достоверные уравнения и зависимости величины коэффициентов выноса биогенных веществ фосфора, калия и азота: аммонийного, нитратного и нитритного от содержания этих веществ в почве позволяют определить коэффициенты выноса их с поверхностным стоком для любого показателя в зависимости от их содержания в почве. Для этого в уравнения вместо «х» достаточно проставить фактическое содержание элемента в почве. Используя эти уравнения, нами уточнены коэффициенты выноса. Полученные результаты исследований наглядно показывают их достоверную зависимость с высокими коэффициентами детерминации (рисунки 125–128).

Для упрощения расчетов ущерба от загрязнения водных объектов различными формами азотных соединений нами проведены исследования и получены связи «выноса этих соединений с нитрификационной способностью почвы» (рисунки 129–136). Методика определения нитрификационной способности почвы наиболее проста и выполняется быстро. Этот показатель может стать стандартным при установлении по косвенным показателям концентрации в поверхностном стоке различных форм азота.

Другим важным биогенным веществом, оказывающим вредное влияние на водные объекты, является фосфор. Фосфаты также существуют в различной форме, но если ПДК_{р/х}, например, нитратов – 40 мг/дм³, то ПДК_{р/х} фосфатов составляет всего 0,2 мг/дм³. Исследования по влиянию содержания подвижного фосфора в почве на его концентрацию в поверхностном стоке ($C_{\text{жидк.}}$) приводятся ниже (таблицы 134, 135 и рисунки 137–140).

Таблица 132 – Расчет коэффициента выноса биогенных элементов азота с жидким стоком талых вод, п. Степной

Местоположение	Вариант опыта	Концентрация азота аммонийного, нитратного и нитритного в жидком стоке, мг/дм ³				Содержание в почве, мг/кг				Коэффициент выноса с талыми водами			
		NH ₄	NO ₃	NO ₂	азот, всего	NH ₄	NO ₃	NO ₂	азот*, всего	NH ₄	NO ₃	NO ₂	азот, всего
п. Степной, Ростовская область Пашня Чернозем обыкновенный	1.1	0,094	0,171	0,001	0,27	3,133	1,821	0,156	5,11	0,030	0,094	0,006	0,131
	1.2	0,087	0,230	0,001	0,32	2,939	1,767	0,184	4,89	0,030	0,130	0,005	0,165
	1.3	0,098	0,307	0,001	0,41	3,033	2,494	0,153	5,68	0,032	0,123	0,007	0,162
	1.4	0,153	0,325	0,001	0,48	4,935	3,291	0,164	8,39	0,031	0,099	0,006	0,136
	2.1	0,178	0,309	0,001	0,49	5,236	3,857	0,157	9,25	0,025	0,080	0,006	0,111
	2.2	0,158	0,524	0,001	0,68	5,683	4,403	0,164	10,25	0,028	0,119	0,006	0,153
	2.3	0,195	0,440	0,001	0,64	8,025	4,493	0,152	12,67	0,024	0,098	0,007	0,129
	2.4	0,187	0,260	0,001	0,45	5,599	2,164	0,167	7,93	0,033	0,120	0,006	0,159
	3.1	0,198	0,257	0,001	0,46	6,429	2,144	0,167	8,74	0,031	0,120	0,006	0,157
	3.2	0,282	0,337	0,002	0,62	6,878	3,438	0,204	10,52	0,041	0,098	0,010	0,149
	3.3	0,381	0,900	0,003	1,28	8,106	7,501	0,333	15,94	0,047	0,120	0,009	0,176
	3.4	0,328	1,396	0,004	1,73	7,455	13,596	0,449	21,5	0,044	0,103	0,009	0,156
	4.1	0,351	2,433	0,005	2,79	7,800	22,319	0,681	30,8	0,045	0,109	0,007	0,161
	4.2	0,389	4,389	0,006	4,78	9,725	30,779	0,796	41,3	0,040	0,143	0,008	0,190
	4.3	0,428	6,783	0,008	7,22	10,190	48,139	1,171	59,5	0,042	0,141	0,007	0,190
	4.4	0,56	6,412	0,012	6,98	12,254	46,771	1,175	60,2	0,046	0,137	0,010	0,193
	5.1	0,342	7,996	0,013	8,35	8,550	51,323	1,237	61,11	0,040	0,156	0,011	0,206
	5.2	0,435	6,997	0,014	7,45	8,700	49,035	1,215	58,95	0,050	0,143	0,012	0,204
	5.3	0,485	7,116	0,015	7,62	11,023	50,828	1,359	63,21	0,044	0,140	0,011	0,195
	5.4	0,511	8,745	0,020	9,28	10,966	60,105	1,439	72,51	0,047	0,146	0,014	0,206

* – азот в почве – по нитрифицирующей способности.

Таблица 133 – Вынос биогенных элементов азота с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

Местоположение	Вариант опыта	Концентрация азота аммонийного, нитратного и нитритного в жидком стоке, мг/дм ³				Содержание в почве, мг/кг				Коэффициент выноса с талыми водами			
		NH ₄	NO ₃	NO ₂	азот, всего	NH ₄	NO ₃	NO ₂	азот, всего	NH ₄	NO ₃	NO ₂	азот, всего
п. Степной, Ростовская область Пашня Чернозем обыкновенный	1.1	0,05	1,75	0,023	1,823	0,213	18,21	0,145	18,568	0,113	0,096	0,159	0,098
	1.2	0,05	1,89	0,021	1,961	0,224	17,64	0,145	18,009	0,149	0,107	0,145	0,109
	1.3	0,06	3,1	0,019	3,179	0,237	25,63	0,185	26,052	0,089	0,121	0,103	0,122
	1.4	0,04	5,79	0,012	5,842	0,325	32,91	0,201	33,436	0,123	0,176	0,060	0,175
	2.1	0,10	4,56	0,037	4,697	0,516	32,57	0,185	33,271	0,153	0,14	0,200	0,141
	2.2	0,16	8,63	0,039	8,829	0,416	44,03	0,211	44,657	0,122	0,196	0,185	0,198
	2.3	0,17	11,05	0,048	11,268	0,754	44,93	0,197	45,881	0,117	0,246	0,244	0,246
	2.4	0,161	8,83	0,049	9,040	0,812	41,25	0,211	42,273	0,167	0,214	0,232	0,214
	3.1	0,171	7,35	0,051	7,572	0,819	43,21	0,245	44,274	0,110	0,17	0,208	0,171
	3.2	0,182	7,28	0,058	7,520	1,015	38,91	0,213	40,138	0,179	0,187	0,272	0,187
	3.3	0,167	10,18	0,056	10,403	1,028	43,12	0,284	44,432	0,163	0,236	0,197	0,234
	3.4	0,161	8,13	0,052	8,343	1,098	42,15	0,297	43,545	0,147	0,193	0,175	0,192
	4.1	0,16	9,75	0,063	9,973	2,135	43,51	0,306	45,951	0,106	0,224	0,206	0,217
	4.2	0,175	10,61	0,059	10,844	2,381	46,12	0,311	48,812	0,123	0,23	0,190	0,222
	4.3	0,165	11,17	0,064	11,399	2,451	48,14	0,523	51,113	0,116	0,232	0,122	0,223
	4.4	0,211	9,4	0,065	9,676	3,451	46,77	0,489	50,711	0,155	0,201	0,133	0,191
	5.1	0,298	12,83	0,081	13,209	5,782	51,32	0,521	57,626	0,229	0,25	0,155	0,229
	5.2	0,321	12,01	0,087	12,418	6,412	49,04	0,678	56,125	0,254	0,245	0,128	0,221
	5.3	0,345	13,57	0,089	14,004	8,112	50,83	0,689	59,629	0,260	0,267	0,129	0,235
	5.4	0,378	16,47	0,107	16,955	8,127	60,11	0,817	69,049	0,265	0,274	0,131	0,246

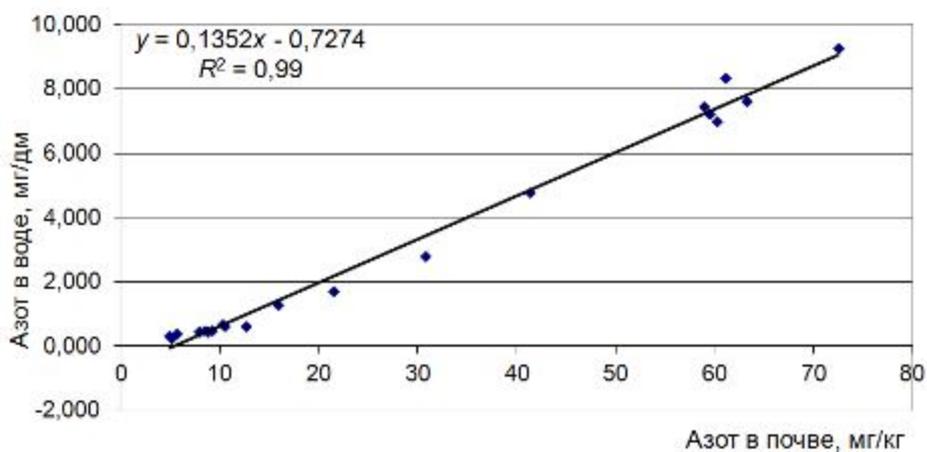


Рисунок 125 – Влияние содержания в почве азота (аммонийного, нитратного и нитритного) на его вынос с жидким стоком, п. Степной

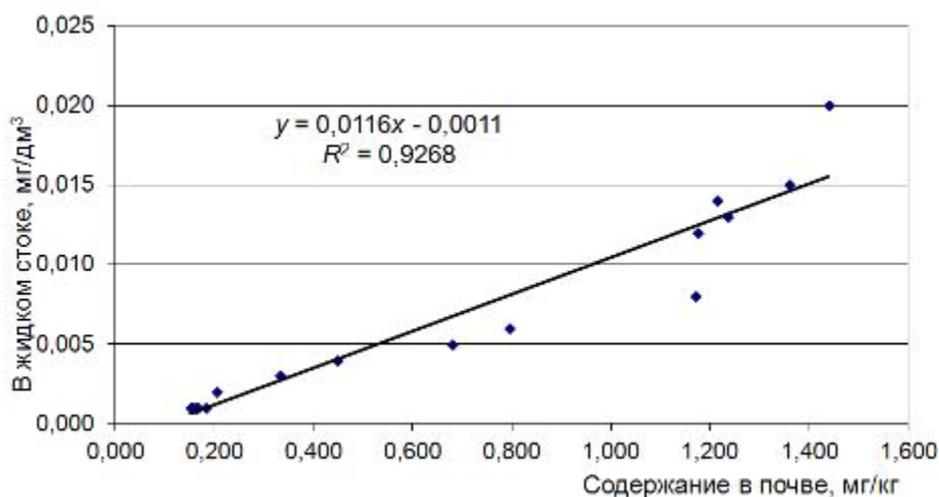


Рисунок 126 – Влияние содержания в почве азота нитритного на его вынос с жидким стоком, п. Степной

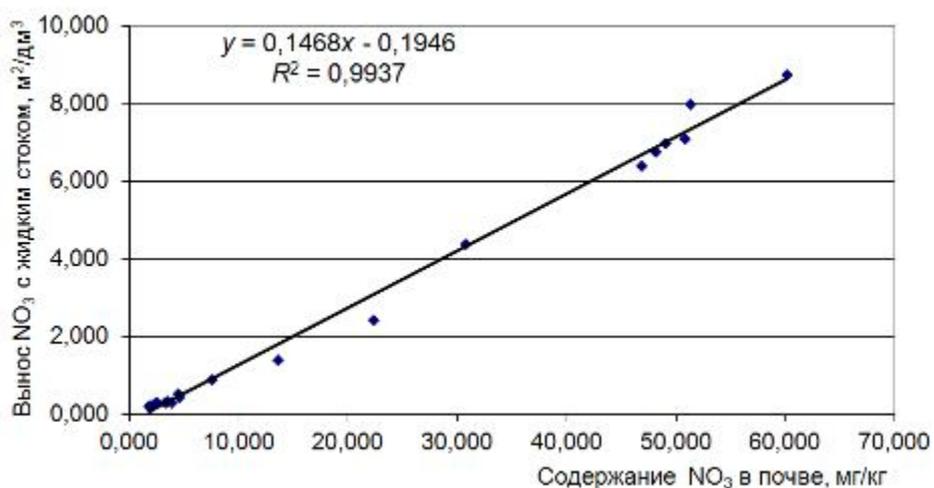


Рисунок 127 – Влияние содержания в почве азота нитратного на его вынос с жидким стоком, п. Степной

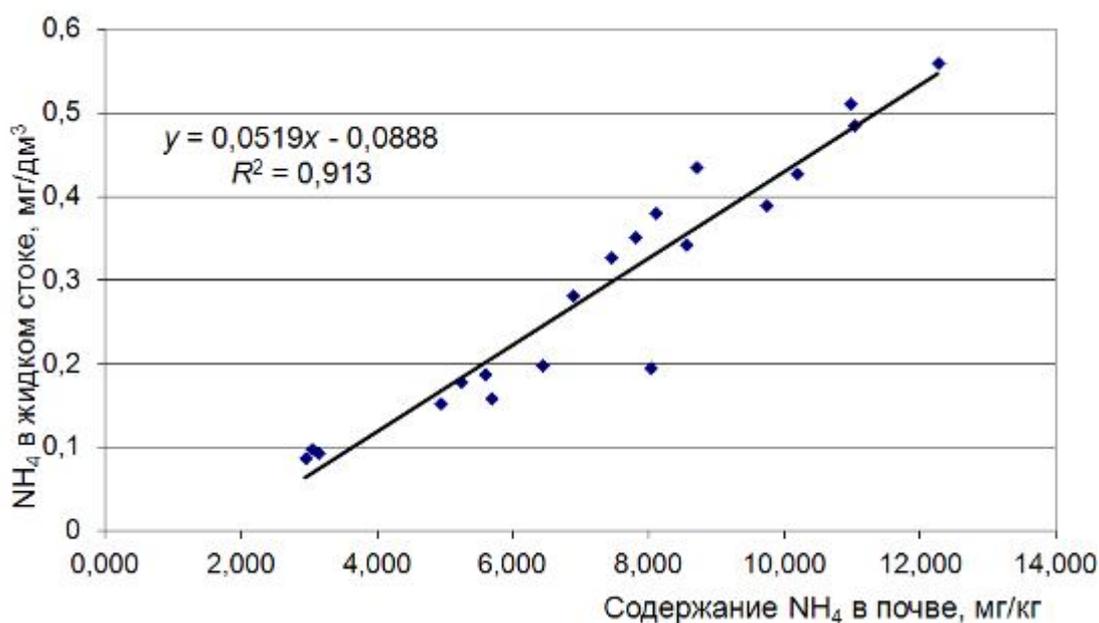


Рисунок 128 – Влияние содержания в почве азота аммонийного на его вынос с жидким стоком талых вод, п. Степной

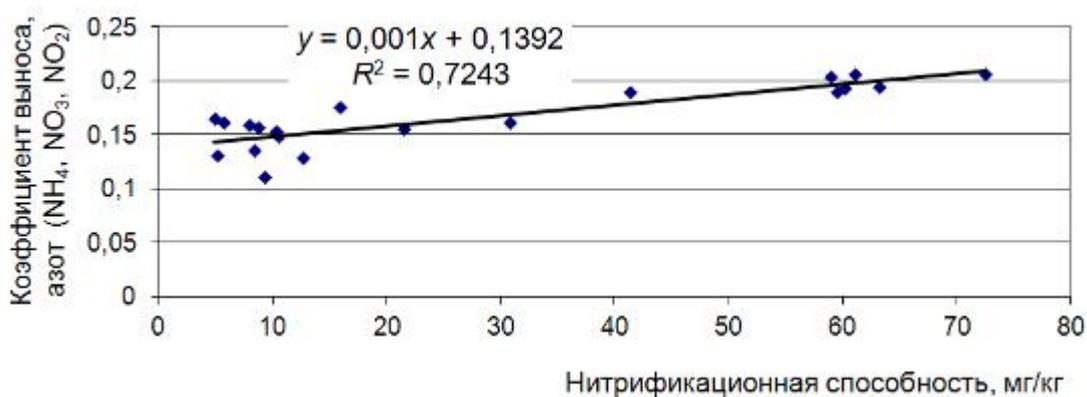


Рисунок 129 – Влияние нитрификационной способности почвы на вынос азота (аммонийного, нитратного и нитритного) с жидким стоком, п. Степной

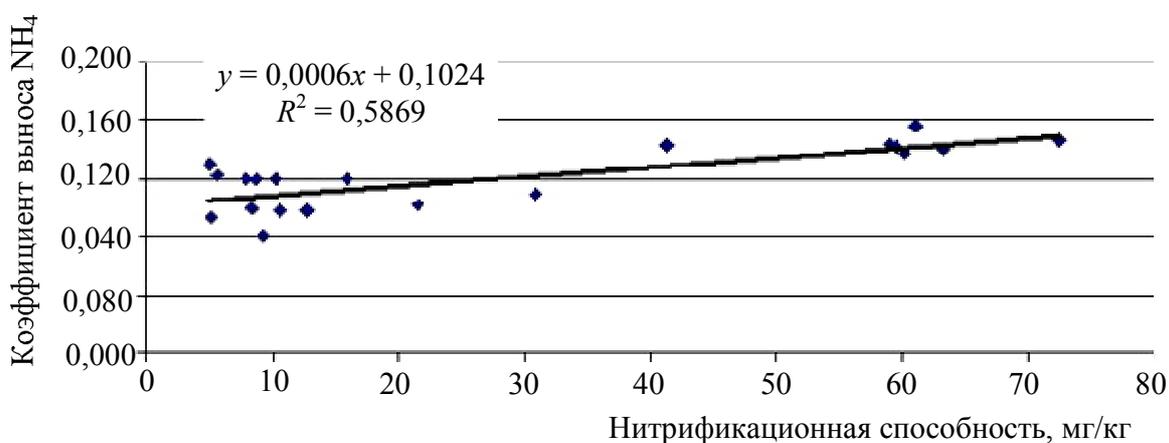


Рисунок 130 – Влияние нитрификационной способности почвы на коэффициент выноса аммонийного азота с жидким стоком, п. Степной

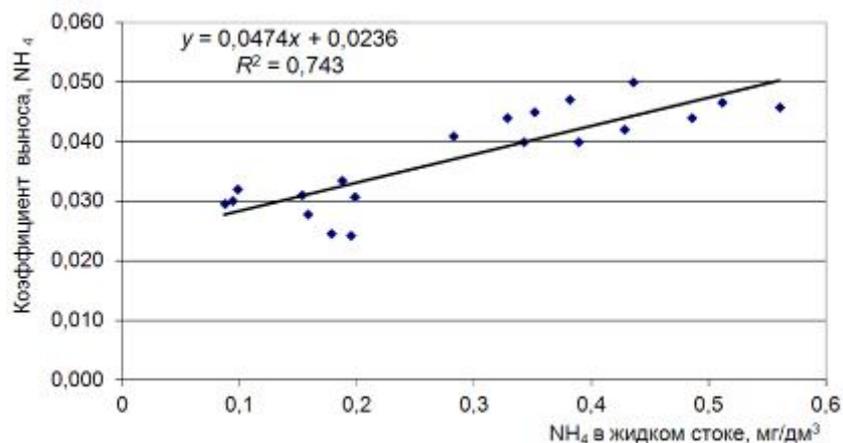


Рисунок 131 – Взаимосвязь коэффициента выноса азота аммонийного с содержанием азота аммонийного в жидком стоке, п. Степной

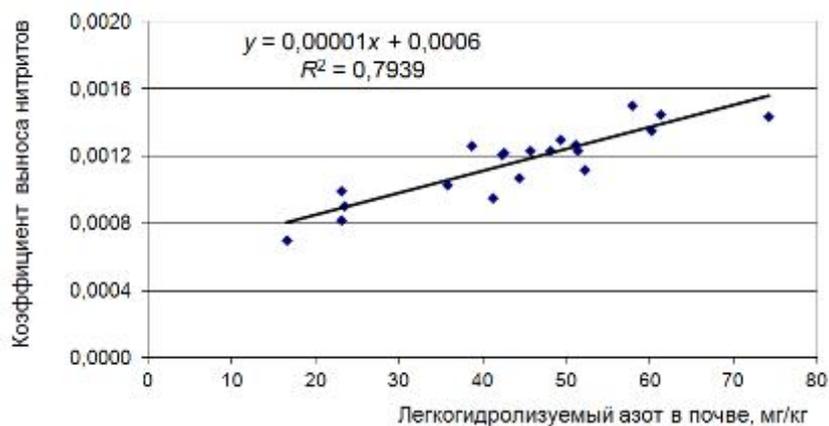


Рисунок 132 – Взаимосвязь коэффициента выноса азота нитритного с нитрификационной способностью почвы, п. Степной

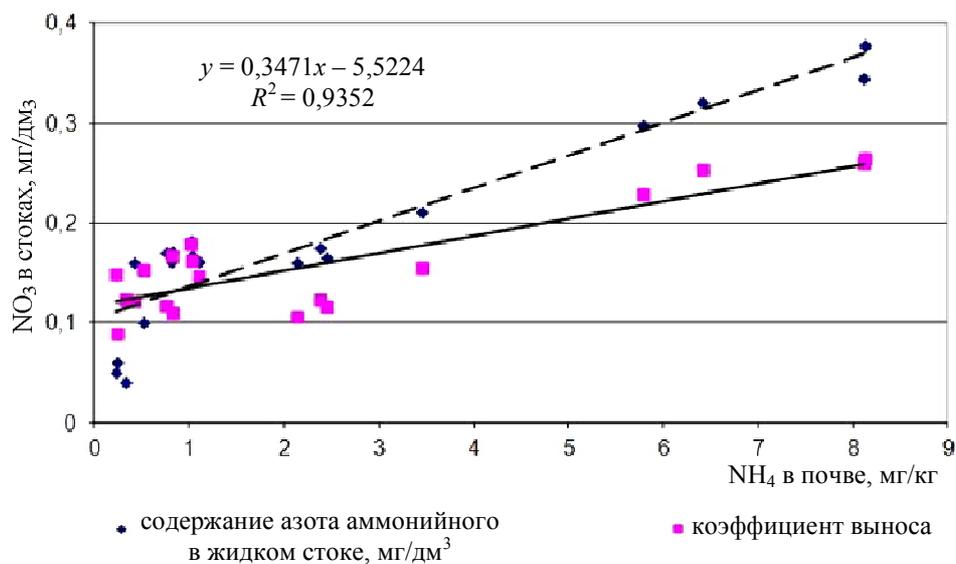


Рисунок 133 – Влияние содержания в почве азота аммонийного на его вынос с жидким стоком дождевых вод и коэффициент выноса, п. Степной

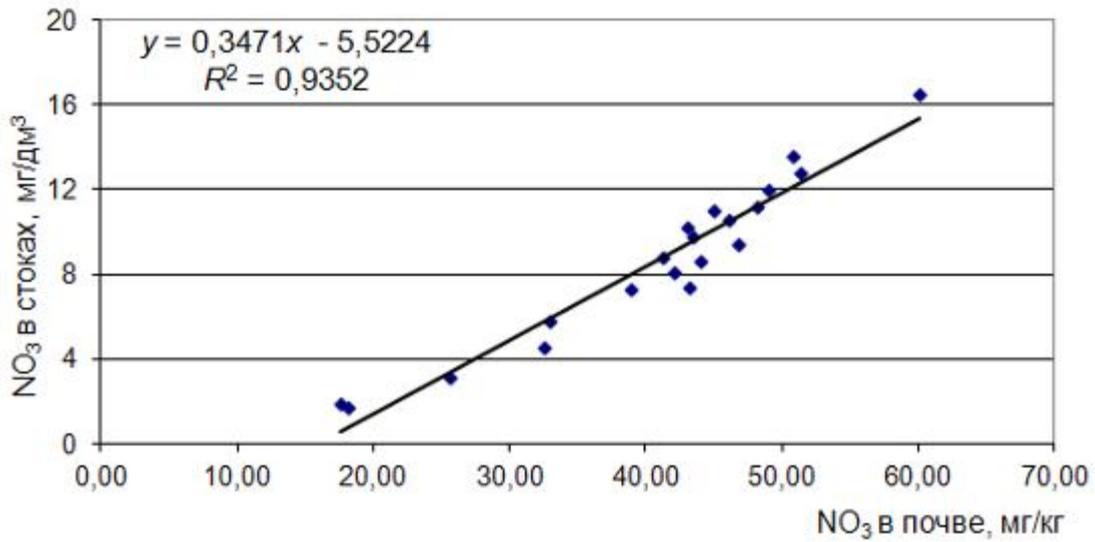


Рисунок 134 – Влияние содержания в почве азота нитратного на его вынос с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

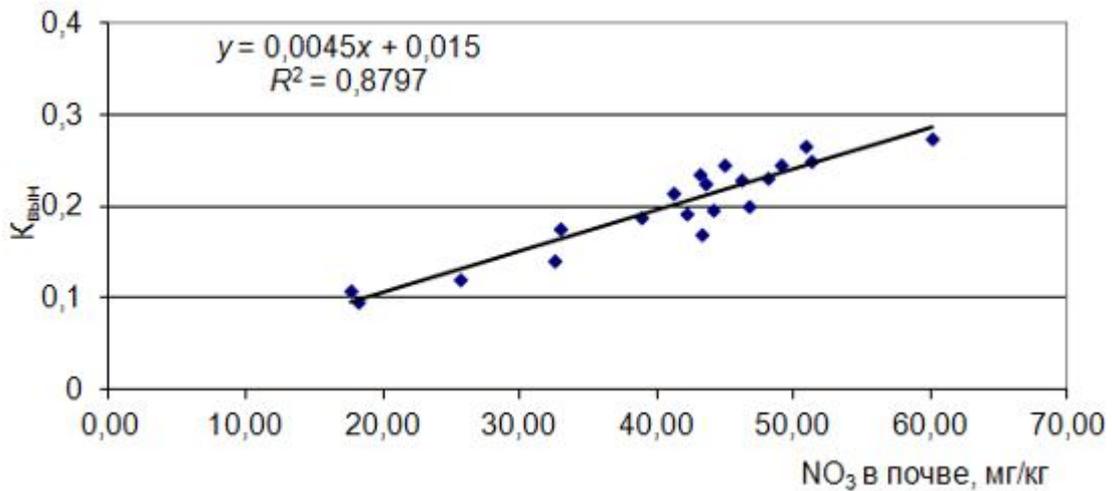


Рисунок 135 – Влияние содержания в почве азота нитратного на коэффициент выноса его с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

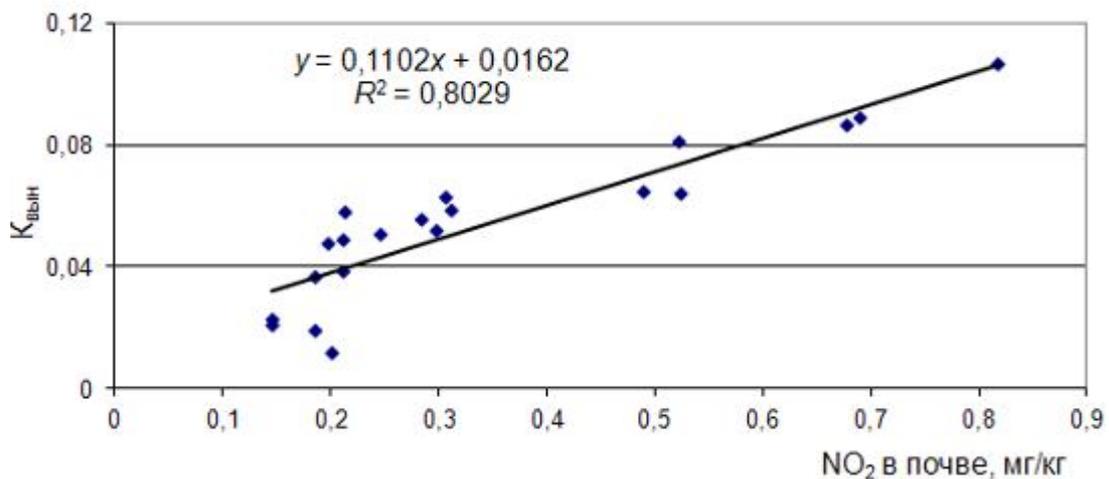


Рисунок 136 – Влияние содержания в почве азота нитритного на его вынос с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

Таблица 134 – Влияние содержания подвижного фосфора в почве на его концентрацию в жидком стоке талых вод, п. Степной

Местоположение участка, тип почвы	Вариант опыта	Содержание подвижного фосфора		Коэффициент выноса фосфора из почвы
		в почве, мг/кг	в жидком стоке, мг/дм ³	
п. Степной, Ростовская область Пашня Чернозем обыкновенный	1.1	18,02	0,040	0,0022
	1.2	29,36	0,073	0,0025
	1.3	29,24	0,061	0,0021
	1.4	36,41	0,081	0,0022
	2.1	31,59	0,070	0,0022
	2.2	44,25	0,136	0,0031
	2.3	50,11	0,132	0,0026
	2.4	31,67	0,078	0,0025
	3.1	40,38	0,126	0,0031
	3.2	43,85	0,156	0,0036
	3.3	44,23	0,158	0,0036
	3.4	43,13	0,107	0,0025
	4.1	55,39	0,163	0,0030
	4.2	49,81	0,182	0,0037
	4.3	57,12	0,181	0,0032
	4.4	49,53	0,147	0,0030
	5.1	62,72	0,191	0,0031
	5.2	58,40	0,197	0,0034
	5.3	57,52	0,216	0,0038
5.4	57,11	0,217	0,0038	

Таблица 135 – Влияние содержания подвижного фосфора в почве на его концентрацию в жидком стоке дождевых вод, п. Степной

Местоположение участка, тип почвы	Вариант опыта	Содержание подвижного фосфора		Коэффициент выноса фосфора из почвы
		в почве, мг/кг	в жидком стоке, мг/дм ³	
1	2	3	4	5
п. Степной, Ростовская область Пашня Чернозем обыкновенный	1.1	11,2	0,0220	0,0021
	1.2	10,4	0,0710	0,0018
	1.3	13,2	0,0430	0,0019
	1.4	12,7	0,0520	0,0014
	2.1	16,4	0,0600	0,0022
	2.2	22,5	0,0700	0,0023
	2.3	28,1	0,1010	0,0023
	2.4	18,9	0,0910	0,0017
	3.1	31,5	0,1200	0,0023
	3.2	33,8	0,1300	0,0021
	3.3	44,1	0,1500	0,0029
	3.4	42,5	0,1200	0,0028
	4.1	55,6	0,1700	0,0031
	4.2	49,7	0,1400	0,0028
	4.3	56,8	0,1500	0,0026

Продолжение таблицы 135

1	2	3	4	5
	4.4	48,9	0,1300	0,0027
	5.1	66,3	0,1600	0,0024
	5.2	62,9	0,1700	0,0027
	5.3	70,2	0,2300	0,0033
	5.4	69,8	0,2100	0,0031

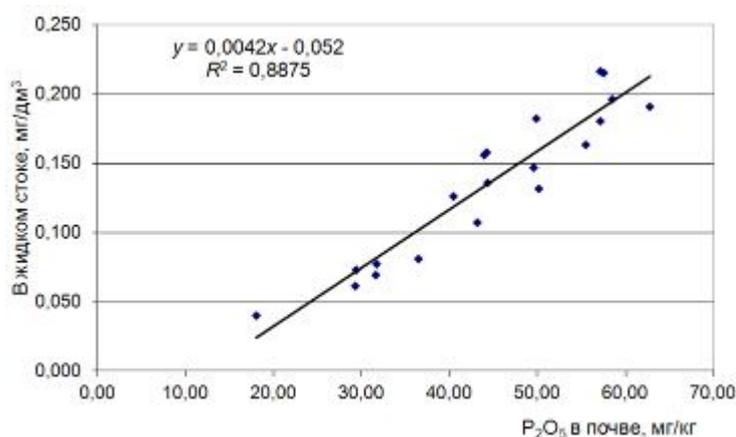


Рисунок 137 – Влияние содержания в почве подвижного фосфора на его вынос с жидким стоком талых вод, п. Степной

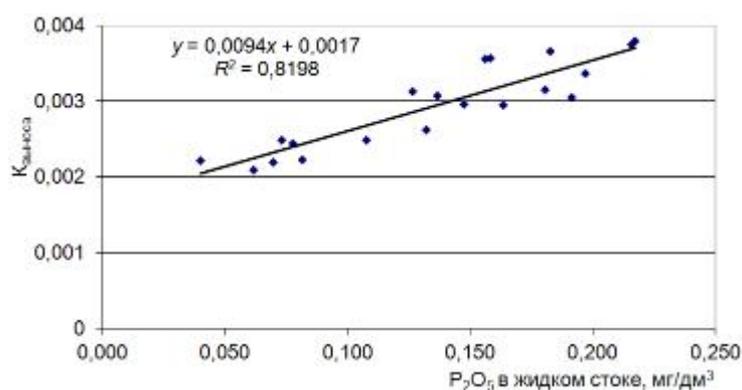


Рисунок 138 – Взаимосвязь содержания фосфора в жидком стоке и коэффициента выноса из почвы, п. Степной

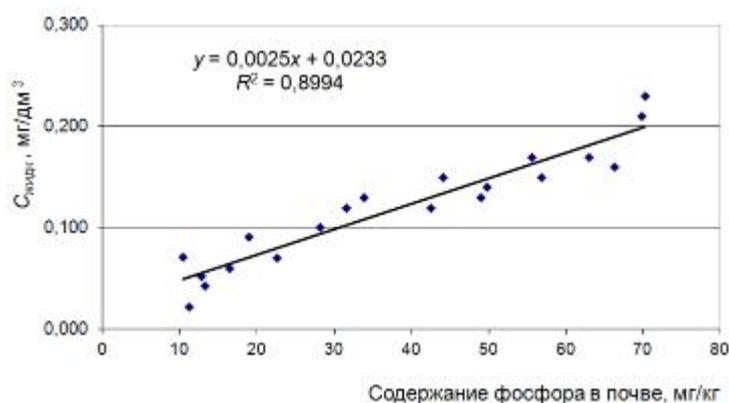


Рисунок 139 – Влияние содержания подвижного фосфора в почве на его концентрацию в жидком стоке дождевых вод, п. Степной

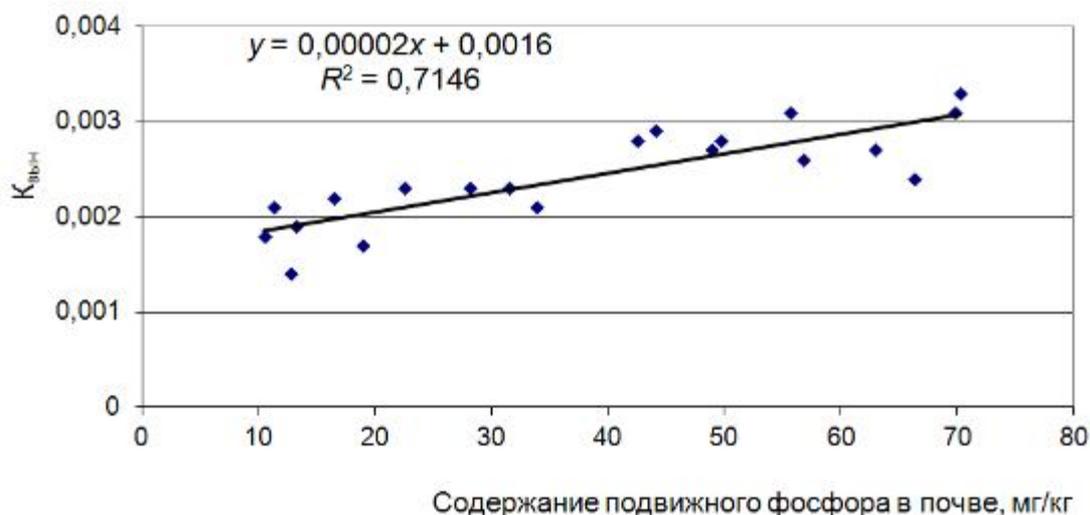


Рисунок 140 – Влияние содержания подвижного фосфора в почве на коэффициент его выноса с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

Калий не оказывает такого сильного влияния на эвтрофикацию водных объектов как азот и фосфор, однако нами также проведены исследования по определению влияния содержания в почве подвижного калия на его вынос с поверхностным стоком (таблицы 136, 137 и рисунки 141–144).

Таблица 136 – Влияние содержания в почве подвижного калия на его вынос с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

Местоположение участка, тип почвы	Вариант опыта	Содержание подвижного калия		Коэффициент выноса калия из почвы
		в почве, мг/кг	в жидком стоке, мг/дм ³	
п. Степной, Ростовская область Пашня Чернозем обыкновенный	1.1	251	28,10	0,111
	1.2	267	37,90	0,146
	1.3	281	41,05	0,146
	1.4	269	40,38	0,150
	2.1	294	29,11	0,127
	2.2	241	19,22	0,112
	2.3	242	43,80	0,132
	2.4	198	16,87	0,080
	3.1	312	52,01	0,166
	3.2	327	44,33	0,136
	3.3	299	58,73	0,157
	3.4	367	52,24	0,142
	4.1	398	73,21	0,183
	4.2	425	99,18	0,202
	4.3	512	92,34	0,183
	4.4	487	91,87	0,189
	5.1	506	110,20	0,202
	5.2	642	152,12	0,205
	5.3	650	135,87	0,209
5.4	680	124	0,182	

Таблица 137 – Влияние содержания в почве подвижного калия на его вынос с поверхностным стоком талых вод, п. Степной

Местоположение участка, тип почвы	Вариант опыта	Содержание подвижного калия		Коэффициент выноса калия из почвы
		в почве, мг/кг	в жидком стоке, мг/дм ³	
п. Степной, Ростовская область Пашня Чернозем обыкновенный	1.1	268	15,01	0,056
	1.2	257	14,21	0,055
	1.3	271	14,09	0,052
	1.4	265	14,84	0,056
	2.1	283	16,16	0,057
	2.2	252	15,27	0,061
	2.3	268	16,67	0,062
	2.4	202	12,36	0,061
	3.1	301	18,57	0,062
	3.2	307	19,40	0,063
	3.3	298	25,75	0,086
	3.4	357	25,81	0,072
	4.1	348	36,05	0,104
	4.2	415	37,56	0,091
	4.3	503	47,53	0,095
	4.4	511	41,08	0,080
	5.1	498	53,78	0,108
	5.2	614	66,74	0,109
	5.3	630	69,43	0,110
	5.4	672	80,64	0,120

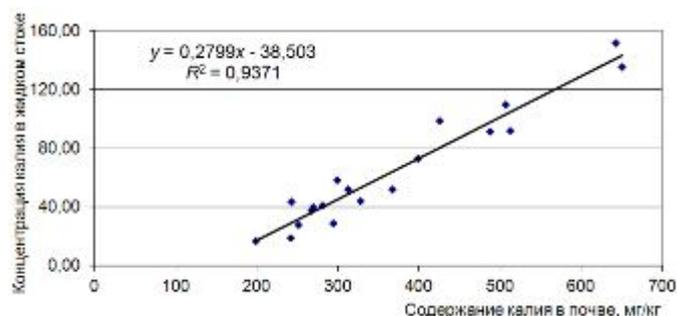


Рисунок 141 – Влияние содержания подвижного калия в почве на его вынос с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

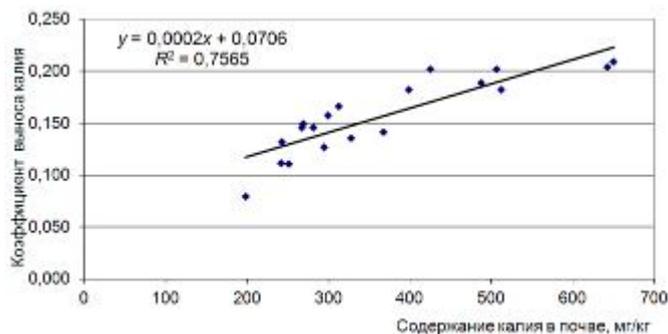


Рисунок 142 – Влияние содержания подвижного калия в почве на коэффициент его выноса с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

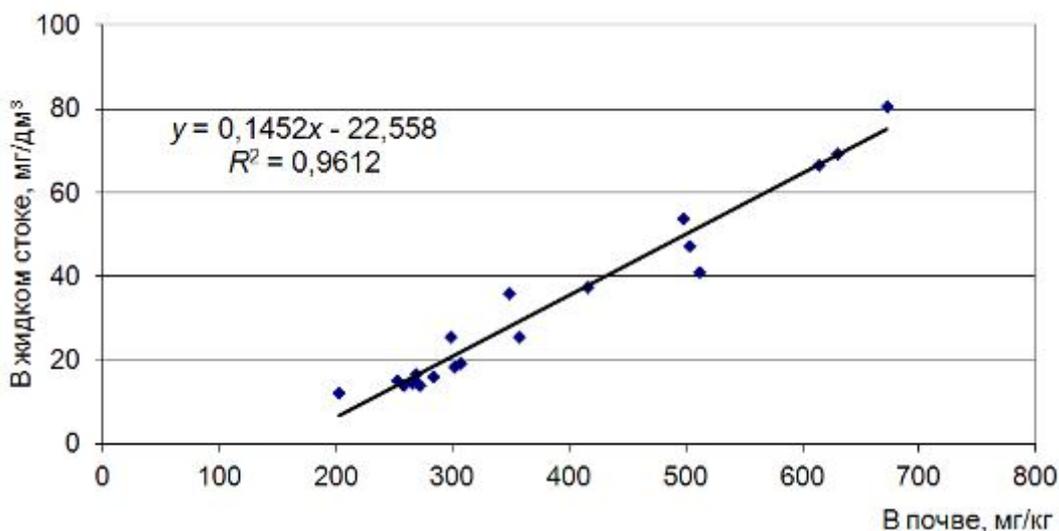


Рисунок 143 – Влияние содержания подвижного калия в почве на его вынос с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

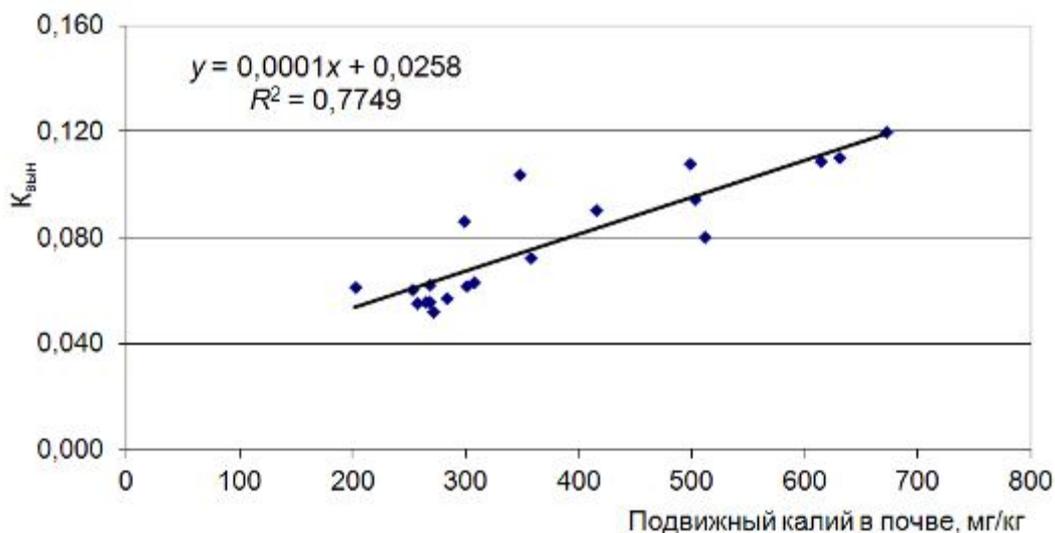


Рисунок 144 – Влияние содержания подвижного калия в почве на коэффициент его выноса с жидким стоком дождевых вод, п. Степной

Таким образом, анализ полученных данных показывает, что вынос биогенных веществ с поверхностным стоком зависит от их содержания в почве. При этом концентрация азота, фосфора и калия в жидком стоке и коэффициенты их выноса прямо пропорциональны их содержанию в почве, т. е. с увеличением доз вносимых удобрений в почве увеличивается содержание этих веществ и соответственно увеличивается их вынос.

Приведенные в таблице 138 зависимости позволяют достаточно точно определять коэффициенты выноса этих веществ.

Продолжение исследований позволили авторам дополнить данные и получить уточненные показатели стока и выноса биогенных веществ (БВ) поверхностным стоком (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , P_2O_5 и K_2O) в зависимости от их наличия в почве.

Анализ полученных данных по выносу биогенных элементов с поверхностным стоком талых и дождевых вод показал, что протекающие процессы в почве очень сложны и изменяются в большом диапазоне данных. Особенно сложно исследовать

довать азот, поскольку он в почве содержится в разных формах в различные периоды года и отличается быстрым переходом из одной формы в другую. В холодные периоды, то есть весной и осенью, преобладает аммиачный азот (NH_4^+). По мере прогревания и аэрации он переходит в нитратные формы (NO_3^- , NO_2^-). Наиболее полная картина выноса азота со стоком в зависимости от обеспеченности почв азотом складывается при определении зависимостей выноса от нитрификационной способности почв или легкогидролизуемого азота (входят все формы азота). Причем, как показали наши исследования, для различных типов почв и различной обеспеченности азотом показатели выноса имеют большие отклонения, поэтому нами проведены исследования на шести типах почв с обеспеченностью азотом от очень низкого до высокого по нитратному и легкогидролизуемому азоту.

Таблица 138 – Сводная таблица уравнений зависимости коэффициента стока «у» от содержания биогенных веществ в почве «х»

Биогенное вещество	Для талых вод		Для дождевых вод	
	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
NH_4	$y=0,0001 \cdot x+0,016$	$R^2 = 0,77$	$y=0,0176 \cdot x+0,1166$	$R^2 = 0,74$
NO_3	$y=0,1468 \cdot x-0,1946$	$R^2 = 0,99$	$y=0,0045 \cdot x+0,015$	$R^2 = 0,87$
NO_2	$y=0,0006 \cdot x+0,1024$	$R^2 = 0,56$	$y=0,1102 \cdot x+0,0162$	$R^2 = 0,80$
P_2O_5	$y=0,1452 \cdot x-22,558$	$R^2 = 0,96$	$y=0,00003 \cdot x+0,0014$	$R^2 = 0,53$
K_2O	$y=0,0001 \cdot x+0,0258$	$R^2 = 0,78$	$y=0,0001 \cdot x+0,0258$	$R^2 = 0,78$

Для подтверждения возможности работы с этими показателями нами выявлены зависимости между нитрификационной способностью почв и содержанием легкогидролизуемого азота, нитратами, а также между содержанием нитратов и легкогидролизуемым азотом (например, данные, полученные в п. Степной на черноземах обыкновенных, приведены на рисунках 145–147).

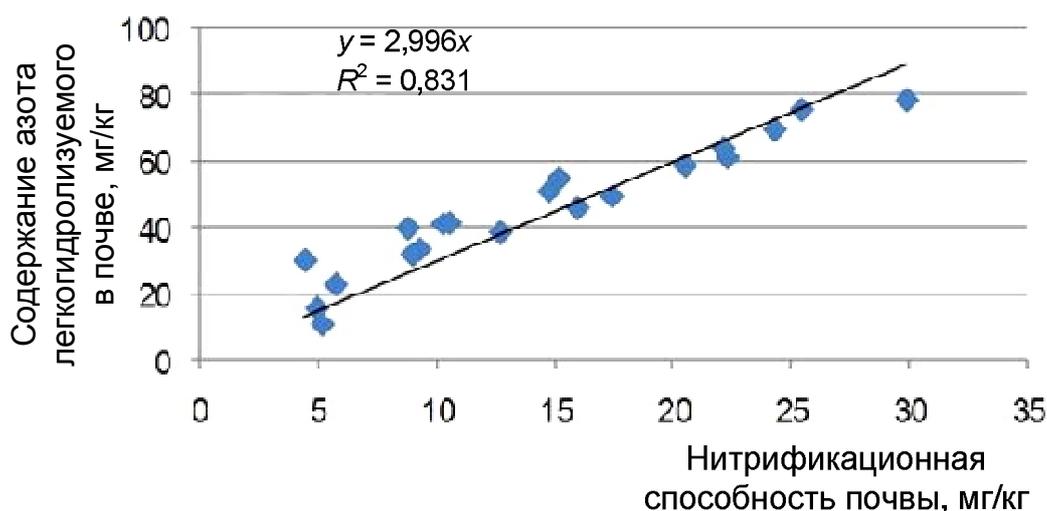


Рисунок 145 – Связь содержания легкогидролизуемого азота в почве с нитрификационной способностью почв, п. Степной

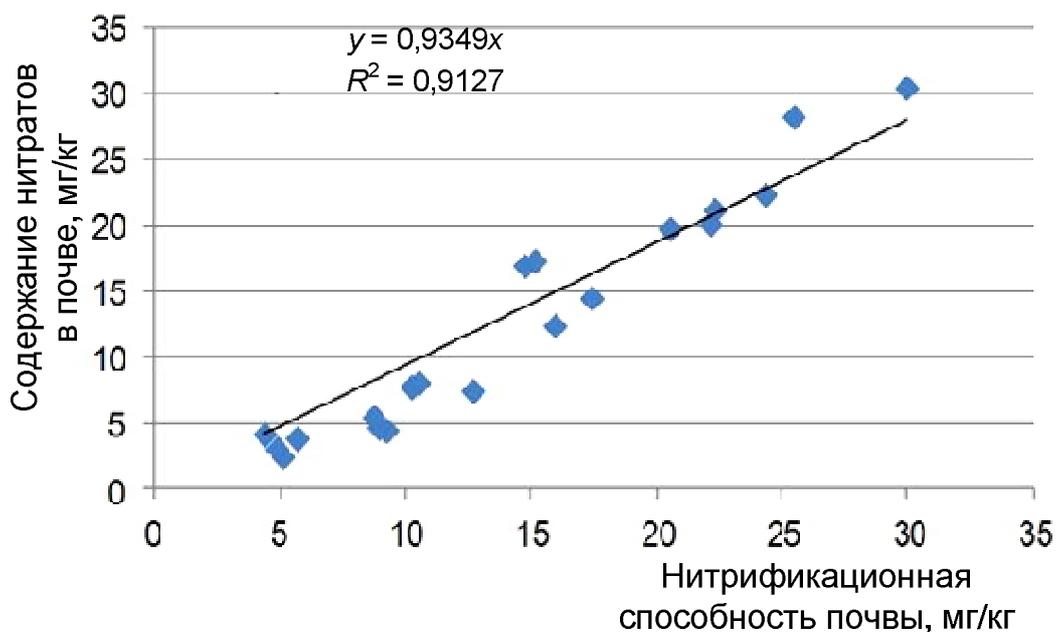


Рисунок 146 – Связь содержания нитратов в почве с нитрификационной способностью почв, п. Степной

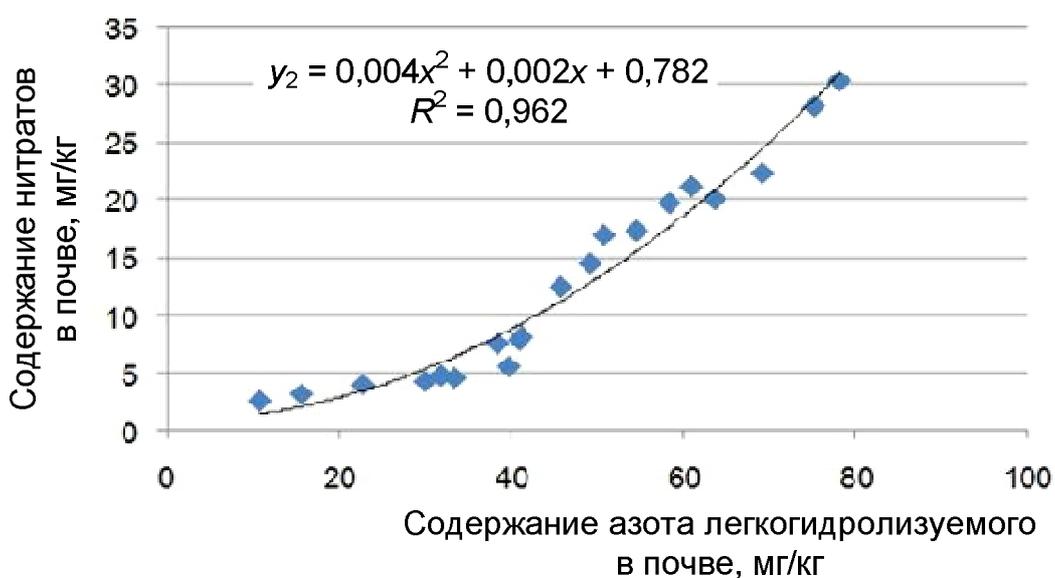


Рисунок 147 – Зависимость содержания нитратов в почве от содержания азота легкогидролизуемого в почве, п. Степной

Полученные зависимости подтверждают тесную корреляционную связь между этими показателями ($R^2 = 0,83-0,96$) как для почв кислого ряда ($pH < 6,0$), так и нейтрального ряда ($pH > 6,0$), и они могут быть взаимозаменяемы при расчетах выноса биогенных веществ (БВ) по косвенным показателям.

Такие же исследования проводились для определения выноса со стоком фосфора и калия. Всего по результатам исследований выноса биогенных веществ в зависимости от их наличия в почве получено 122 достоверные зависимости, описываемые уравнениями полинома второй степени, экспонента и пр. (таблицы 139–142).

Таблица 139 – Определение биогенных элементов в жидкой фазе поверхностного стока в зависимости от содержания питательных веществ в почве (чернозем обыкновенный)

Биогенный элемент в жидком стоке, мг/дм ³	Азот в почве Π_i , мг/кг	Для талых вод		Для дождевых вод	
		Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
NH_4^+	Легкогидролизуемый	$\text{NH}_4 = 2E - 05 \Pi_i^2 + 0,0041 \Pi_i + 0,0725$	0,70	$\text{NH}_4 = 6E - 05 \Pi_i^2 + 0,0014 \Pi_i - 0,0074$	0,91
	Нитратный	$\text{NH}_4 = 0,0117 \Pi_i + 0,1367$	0,81	$\text{NH}_4 = 7E - 05 \Pi_i^2 + 0,0072 \Pi_i + 0,0668$	0,74
NO_3^-	Легкогидролизуемый	$\text{NO}_3 = 0,159e^{0,0533 \Pi_i}$	0,83	$\text{NO}_3 = 0,0077 \Pi_i^2 + 0,3768 \Pi_i$	0,95
	Нитратный	$\text{NO}_3 = 0,0062 \Pi_i^2 + 0,1365 \Pi_i$	0,85	$\text{NO}_3 = 0,0014 \Pi_i^2 + 1,394 \Pi_i + 15,906$	0,82
NO_2^-	Легкогидролизуемый	$\text{NO}_2 = 0,0002e^{0,0563 \Pi_i}$	0,83	$\text{NO}_2 = 7E - 06 \Pi_i^2 + 0,001 \Pi_i - 0,008$	0,96
	Нитратный	$\text{NO}_2 = 2E - 05 \Pi_i^2 + 0,0002 \Pi_i - 0,0003$	0,88	$\text{NO}_2 = 4E - 07 \Pi_i^2 + 0,0024 \Pi_i + 0,0251$	0,85
Азот ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$)	Легкогидролизуемый	$N = 0,2292e^{0,049 \Pi_i}$	0,83	$N = 0,0077 \Pi_i^2 + 0,3786 \Pi_i$	0,94
	Нитратный	$N = 0,0056 \Pi_i^2 + 0,1695 \Pi_i$	0,86	$N = 0,0015 \Pi_i^2 + 1,4035 \Pi_i + 15,998$	0,82
P_2O_5	Подвижный фосфор по Мачигину	$\text{P}_2\text{O}_5 = 3E - 05 \Pi_i^2 + 0,0017 \Pi_i$	0,88	$\text{P}_2\text{O}_5 = 3E - 07 \Pi_i^2 + 0,0025 \Pi_i + 0,0225$	0,89
K_2O	Подвижный калий по Мачигину	$\text{K}_2\text{O} = 0,0001 \Pi_i^2 + 0,0283 \Pi_i$	0,96	$\text{K}_2\text{O} = 0,0002 \Pi_i^2 + 0,0828 \Pi_i$	0,93

Таблица 140 – Определение биогенных элементов в жидкой фазе поверхностного стока в зависимости от содержания питательных веществ в почве (дерново-подзолистые почвы)

Биогенный элемент в жидком стоке, мг/дм ³	Азот в почве Π_i , мг/кг	Для талых вод		Для дождевых вод	
		Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
NH_4^+	Легкогидролизуемый	$\text{NH}_4 = 1\text{E} - 04 \Pi_i^2 + 0,0016 \Pi_i$	0,98	$\text{NH}_4 = 4\text{E} - 05 \Pi_i^2 + 0,001 \Pi_i + 0,412$	0,91
	Нитратный	$\text{NH}_4 = 0,111\text{e}^{0,0688\Pi_i}$	0,91	$\text{NH}_4 = 8\text{E} - 05 \Pi_i^2 + 0,0072 \Pi_i$	0,96
NO_3^-	Легкогидролизуемый	$\text{NO}_3 = 0,0828\text{e}^{0,0514\Pi_i}$	0,95	$\text{NO}_3 = 0,4263\text{e}^{0,0569\Pi_i}$	0,96
	Нитратный	$\text{NO}_3 = 0,0048 \Pi_i^2 + 0,0496 \Pi_i$	0,94	$\text{NO}_3 = 1,0474\text{e}^{0,1577\Pi_i}$	0,95
NO_2^-	Легкогидролизуемый	$\text{NO}_2 = 0,00024\text{e}^{0,055\Pi_i}$	0,98	$\text{NO}_2 = 0,0024\text{e}^{0,0344\Pi_i}$	0,39
	Нитратный	$\text{NO}_2 = 0,0024\text{e}^{0,1173\Pi_i}$	0,96	$\text{NO}_2 = 0,0036\text{e}^{0,103\Pi_i}$	0,45
Азот ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$)	Легкогидролизуемый	$\text{N} = 0,1279\text{e}^{0,0479\Pi_i}$	0,97	$\text{N} = 0,442\text{e}^{0,0565\Pi_i}$	0,96
	Нитратный	$\text{N} = 0,0049 \Pi_i^2 + 0,0755 \Pi_i$	0,95	$\text{N} = 1,0789\text{e}^{0,1566\Pi_i}$	0,95
P_2O_5	Подвижный фосфор по Мачигину	$\text{P}_2\text{O}_5 = 4\text{E} - 06 \Pi_i^2 + 0,0001 \Pi_i + 0,013$	0,98	$\text{P}_2\text{O}_5 = 4\text{E} - 06 \Pi_i^2 + 0,0002 \Pi_i + 0,014$	0,99
K_2O	Подвижный калий по Мачигину	$\text{K}_2\text{O} = 2,0868\text{e}^{0,0177\Pi_i}$	0,92	$\text{K}_2\text{O} = 0,0021 \Pi_i^2 - 0,102 \Pi_i + 4,163$	0,99

Таблица 141 – Уравнения регрессии для определения концентрации биогенных элементов в жидкой фазе поверхностного стока C_i в зависимости от содержания питательных веществ в почве P_i , при $pH > 6$ (почвы нейтрального ряда: черноземы, каштановые, бурые пустынные)

C_i , мг/дм ³	P_i , мг/кг	Для талых вод		Для дождевых вод	
		Уравнение регрессии	R^2	Уравнение регрессии	R^2
NH_4^+	$N_{ЛГ}$	$NH_4 = 0,1067 e^{0,022P_i}$	0,85	$NH_4 = 5E - 05 P_i^2 + 0,001 P_i$	0,89
	$N_{НИТ.}$	$NH_4 = 0,1611 e^{0,0434P_i}$	0,86	$NH_4 = 0,064 e^{0,0571P_i}$	0,69
NO_3^-	$N_{ЛГ}$	$NO_3 = 0,1566 e^{0,0523P_i}$	0,86	$NO_3 = 0,0075 P_i^2 + 0,3439 P_i$	0,92
	$N_{НИТ.}$	$NO_3 = 0,0071 P_i^2 + 0,0743$	0,82	$NO_3 = 0,0047 P_i^2 + 1,3966 P_i + 13,46$	0,85
NO_2^-	$N_{ЛГ}$	$NO_2 = 0,0002 e^{0,0573P_i}$	0,87	$NO_2 = 6E - 06 P_i^2 + 0,0008 P_i$	0,87
	$N_{НИТ.}$	$NO_2 = 2E - 05 P_i^2 + 4E - 05 P_i$	0,88	$NO_2 = 0,0273 e^{0,041P_i}$	0,76
Азот (NH_4^+ + NO_3^- + NO_2^-)	$N_{ЛГ}$	$N = 0,2255 e^{0,0483P_i}$	0,86	$N = 0,0076 P_i^2 + 0,3459 P_i$	0,92
	$N_{НИТ.}$	$N = 0,0066 P_i^2 + 0,1066$	0,83	$N = 16,263 e^{0,0458P_i}$	0,79
P_2O_5	–	$P_2O_5 = 2E - 05 P_i^2 + 0,0024 P_i$	0,97	$P_2O_5 = 4E - 06 P_i^2 + 0,0026 P_i$	0,88
K_2O	–	$K_2O = 0,0001 P_i^2 + 0,0375 P_i$	0,99	$K_2O = 0,0001 P_i^2 + 0,1139 P_i$	0,97

Примечание – C_i (NH_4 , NO_3 , NO_2 , P_2O_5 , K_2O) – концентрация биогенного элемента в жидком стоке, мг/дм³; P_i – содержание биогенного элемента в почве; $N_{ЛГ}$ – азот легкогидролизуемый и $N_{НИТ.}$ – азот нитратный, мг/кг; R^2 – коэффициент регрессии (детерминации).

Таблица 142 – Уравнения регрессии для определения концентрации биогенных элементов в жидкой фазе поверхностного стока C_i в зависимости от содержания питательных веществ в почве P_i , при $pH < 6$ (почвы кислого ряда: дерново-подзолистые, серые лесные)

C_i , мг/дм ³	P_i , мг/кг	Для талых вод		Для дождевых вод	
		Уравнение регрессии	R^2	Уравнение регрессии	R^2
1	2	3	4	5	6
NH_4^+	$N_{ЛГ}$	$NH_4 = 9E - 05 P_i^2 + 0,0011 P_i$	0,95	$NH_4 = 3E - 05 P_i^2 + 0,0004 P_i$	0,95
	$N_{НИТ.}$	$NH_4 = 0,1089 e^{0,0685P_i}$	0,89	$NH_4 = 9E - 05 P_i^2 + 0,0069 P_i + 0,0026$	0,96

Продолжение таблицы 142

1	2	3	4	5	6
NO ₃ ⁻	N _{ЛГ}	NO ₃ = 0,1202 e ^{0,0439Π_i}	0,86	NO ₃ = 0,6066 e ^{0,0527Π_i}	0,95
	N _{НИТ.}	NO ₃ = 0,0045 Π _i ² + + 0,0504 Π _i	0,83	NO ₃ = 0,0767 Π _i ² + 0,0667 Π _i	0,91
NO ₂ ⁻	N _{ЛГ}	NO ₂ = 0,0013 e ^{0,0452Π_i}	0,89	NO ₂ = 0,0018 e ^{0,0416Π_i}	0,61
	N _{НИТ.}	NO ₂ = 6E – 06 Π _i ³ – – 0,0002 Π _i ² + + 0,0023 Π _i	0,85	NO ₂ = 0,0032 e ^{0,1185Π_i}	0,65
Азот (NH ₄ ⁺ + + NO ₃ ⁻ + + NO ₂ ⁻)	N _{ЛГ}	N = 0,1707 e ^{0,0417Π_i}	0,89	N = 0,0002 Π _i ³ – 0,0138 Π _i ² + + 0,3297 Π _i	0,93
	N _{НИТ.}	N = 0,0045 Π _i ² + + 0,0766 Π _i	0,85	N = 0,0769 Π _i ² + 0,0731 Π _i	0,92
P ₂ O ₅	–	P ₂ O ₅ = 3E – 06 Π _i ² + + 0,0004 Π _i	0,98	P ₂ O ₅ = 3E – 06 Π _i ² + + 0,0005 Π _i	0,98
K ₂ O	–	K ₂ O = 0,0012 Π _i ² + + 0,2458 Π _i	0,88	K ₂ O = 0,001 Π _i ² + 0,2566 Π _i	0,91
Примечание – C _i (NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , P ₂ O ₅ , K ₂ O) – концентрация биогенного элемента в жидком стоке, мг/дм ³ ; Π _i – содержание биогенного элемента в почве; N _{ЛГ} – азот легкогидролизуемый и N _{НИТ.} – азот нитратный, мг/кг; R ² – коэффициент регрессии (детерминации).					

Помимо определения концентрации БВ в стоке, которая применяется для расчета поступления биогенного элемента (БЭ) с жидкой фазой поверхностного стока, необходимо для разграничения ответственности хозяйствующих субъектов за ущерб, нанесенный поверхностным водным объектам, учесть вынос БЭ с части водосбора.

Для этого должны использоваться коэффициенты выноса азота, фосфора и калия для различных почв и регионов, а для расчета выноса БЭ необходимо знать его концентрацию в жидком стоке, пересчитанного на вынос в кг/га. Процент выноса биоэлемента из почвы определен отношением его содержания в жидком стоке к содержанию этого же элемента в почве, умноженному на 100 %. Коэффициент выноса из почвы рассчитывался делением % выноса элемента на 100. В таблице 143 приведены обобщенные результаты коэффициента выноса биоэлементов по разновидностям почв в зависимости от их обеспеченности этими веществами, а также коэффициенты выносов отдельно для почв нейтрального и кислого рядов (таблица 144).

Для упрощения расчетов нами получены уравнения регрессии, позволяющие рассчитывать коэффициенты выноса, зная содержание БЭ в почве (таблицы 145, 146).

Таблица 143 – Коэффициенты выноса биогенных элементов с жидкой фазой поверхностного стока в зависимости от наличия питательных веществ в почве по почвенным разновидностям

Почва	Показатель		Коэффициент выноса биогенных элементов (содержание)				
			очень низкое*	низкое	среднее	высокое	очень высокое
Чернозем обыкновенный Сток талых вод	NH ₄ NO ₃ NO ₂ Общий азот	От азота легкогидролизуемого	0,00051	0,000029	0,00039	0,00044	0,00036
			0,00202	0,00128	0,00153	0,00552	0,00620
			0,0000034	0,0000016	0,0000032	0,0000079	0,000012
			0,00261	0,00157	0,00192	0,00597	0,00658
	NH ₄ NO ₃ NO ₂ Общий азот	От нитратного азота	0,00303	0,00193	0,00159	0,00109	0,00104
			0,01000	0,00783	0,00729	0,01647	0,0178
			0,000017	0,000010	0,000014	0,000024	0,000036
			0,01307	0,00978	0,00888	0,01759	0,01891
	P ₂ O ₅		0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002
	K ₂ O		0,0032	0,0035	0,0038	0,0053	0,0065
Дерново-подзолистые Сток талых вод	NH ₄ NO ₃ NO ₂ Общий азот	От азота легкогидролизуемого	0,0014	0,00173	0,00210	0,00265	0,00308
			0,00480	0,00457	0,00750	0,0168	0,0246
			0,000043	0,000053	0,000088	0,000163	0,000365
			0,00633	0,0062	0,0097	0,0195	0,0280
	NH ₄ NO ₃ NO ₂ Общий азот	От нитратного азота	0,01053	0,00772	0,0081	0,00878	0,00840
			0,0346	0,0212	0,0290	0,0548	0,0668
			0,00032	0,00024	0,00031	0,00055	0,00097
			0,0456	0,0291	0,0375	0,0641	0,0762
	P ₂ O ₅		0,00024	0,00025	0,00028	0,00032	0,00042
	K ₂ O		0,0254	0,494	0,0811	0,1198	0,1786
Дерново-подзолистые Сток дождевых вод	NH ₄ NO ₃ NO ₂ Общий азот	От азота легкогидролизуемого	0,000465	0,000498	0,000550	0,000643	0,000862
			0,0187	0,0271	0,0547	0,1207	0,2059
			0,00009	0,00011	0,00030	0,00014	0,00038
			0,023	0,0277	0,0553	0,1215	0,2071

* – содержание *i* БЭ в почве.

Таблица 144 – Коэффициенты выноса биогенных элементов с жидким стоком талых и дождевых вод в зависимости от обеспеченности почв питательными веществами (почвы кислого ряда)

Почва	Показатель		Коэффициент выноса биогенных элементов (содержание)				
			очень низкое	низкое	среднее	высокое	очень высокое
Дерново-подзолистые, серые лесные, pH < 6, сток талых вод	NH ₄	От азота легкогидролизуемого	0,0014	0,0016	0,0021	0,00267	0,0030
	NO ₃		0,0067	0,0043	0,0077	0,0167	0,0234
	NO ₂		0,000073	0,00007	0,000089	0,00015	0,00035
	Азот (NH ₄ + NO ₃ + NO ₂)		0,0083	0,0058	0,0098	0,0195	0,0267
	NH ₄	От нитратного азота	0,0107	0,0081	0,0078	0,0087	0,0085
	NO ₃		0,0500	0,0228	0,0284	0,0556	0,0656
	NO ₂		0,0006	0,0004	0,0003	0,0005	0,0010
	Азот (NH ₄ + NO ₃ + NO ₂)		0,0614	0,0313	0,0365	0,0648	0,0751
	P ₂ O ₅		0,00025	0,00024	0,00029	0,00033	0,00042
	K ₂ O		0,1004	0,0980	0,1538	0,1377	0,1847
Дерново-подзолистые, серые лесные, pH < 6, сток дождевых вод	NH ₄	От азота легкогидролизуемого	0,00044	0,00042	0,00055	0,00067	0,00085
	NO ₃		0,0264	0,0360	0,0584	0,1254	0,2026
	NO ₂		0,000076	0,00009	0,00018	0,00017	0,00031
	Азот (NH ₄ + NO ₃ + NO ₂)		0,0288	0,0365	0,0590	0,1262	0,2038
	NH ₄	От нитратного азота	0,0027	0,00214	0,00227	0,0025	0,0027
	NO ₃		0,1630	0,1775	0,2470	0,4710	0,6115
	NO ₂		0,00044	0,00045	0,00036	0,00064	0,00119
	Азот (NH ₄ + NO ₃ + NO ₂)		0,1780	0,1690	0,2470	0,4115	0,6490
	P ₂ O ₅		0,00024	0,00025	0,00027	0,00032	0,00039
	K ₂ O		0,0969	0,1052	0,1414	0,1221	0,1556

Таблица 145 – Определение коэффициента выноса биогенного элемента с жидкой фазой поверхностного стока в зависимости от содержания этих веществ в почве (почвы нейтрального ряда)

Биогенный элемент жидкой фазы, кг/га	Биогенный элемент в почве Π_i , кг/га	Коэффициент выноса биогенных элементов с жидким стоком			
		талых вод		дождевых вод	
		Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
NH_4^+	Легкогидролизуемый	$\text{NH}_4 = 0,0003 e^{0,0023\Pi_i}$	0,518	$\text{NH}_4 = 0,0001 e^{0,0055\Pi_i}$	0,588
	Нитратный	$\text{NH}_4 = 5E - 07 \Pi_i^2 - 7E - 0,5 \Pi_i + 0,0034$	0,819	$\text{NH}_4 = 1E - 07 \Pi_i^2 - 2E - 0,5 \Pi_i + 0,0021$	0,569
NO_3^-	Легкогидролизуемый	$\text{NO}_3 = 1E - 07 \Pi_i^2 + 1E - 0,6 \Pi_i$	0,757	$\text{NO}_3 = 0,0421 e^{0,0032\Pi_i}$	0,695
	Нитратный	$\text{NO}_3 = 0,0002 \Pi_i$	0,529	$\text{NO}_3 = 0,4674 e^{-0,0133\Pi_i}$	0,719
NO_2^-	Легкогидролизуемый	$\text{NO}_2 = 3E - 10 \Pi_i^2 - 1E - 0,8 \Pi_i$	0,873	$\text{NO}_2 = 7E - 05 e^{0,0028\Pi_i}$	0,525
	Нитратный	$\text{NO}_2 = 7E - 06 e^{0,0165\Pi_i}$	0,653	$\text{NO}_2 = 1E - 07 \Pi_i^2 - 2E - 0,5 \Pi_i + 0,0009$	0,737
Азот ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$)	Легкогидролизуемый	$\text{N} = 1E - 07 \Pi_i^2 + 5E - 0,6 \Pi_i$	0,784	$\text{N} = 0,0422 e^{0,0032\Pi_i}$	0,655
	Нитратный	$\text{N} = 0,0073 e^{0,0087\Pi_i}$	0,346	$\text{N} = 6E - 05 \Pi_i^2 - 0,0101 \Pi_i + 0,5706$	0,752
P_2O_5	Подвижный Р по Мачигину	$\text{P}_2\text{O}_5 = 0,0001 e^{0,0023\Pi_i}$	0,638	$\text{P}_2\text{O}_5 = 0,0002 e^{0,0024\Pi_i}$	0,631
K_2O	Подвижный К по Мачигину	$\text{K}_2\text{O} = 0,0028 e^{0,0004\Pi_i}$	0,871	$\text{K}_2\text{O} = 0,0107 e^{0,0003\Pi_i}$	0,693

Таблица 146 – Определение коэффициента выноса биогенного элемента с жидкой фазой поверхностного стока в зависимости от содержания этих веществ в почве (почвы кислого ряда)

Биогенный элемент жидкой фазы, кг/га	Биогенный элемент в почве Π_i , кг/га	Коэффициент выноса биогенных элементов с жидким стоком			
		Талых вод		Дождевых вод	
		Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
NH_4^+	Легкогидролизуемый	$\text{NH}_4 = 3\text{E} - 08 \Pi_i^2 - 2\text{E} - 06 \Pi_i + 0,0014$	0,771	$\text{NH}_4 = 8\text{E} - 09 \Pi_i^2 - 2\text{E} - 07 \Pi_i + 0,0003$	0,837
	Нитратный	$\text{NH}_4 = 4\text{E} - 0 \Pi_i^2 - 7\text{E} - 05 \Pi_i + 0,0109$	0,517	$\text{NH}_4 = 0,0017 e^{0,0055\Pi_i}$	0,522
NO_3^-	Легкогидролизуемый	$\text{NO}_3 = 3\text{E} - 07 \Pi_i^2 + 3\text{E} - 06 \Pi_i$	0,766	$\text{NO}_3 = 3\text{E} - 06 \Pi_i^2 - 0,0001 \Pi_i$	0,861
	Нитратный	$\text{NO}_3 = 0,0162 e^{0,0132\Pi_i}$	0,630	$\text{NO}_3 = 1\text{E} - 06 \Pi_i^2 + 0,0072 \Pi_i$	0,734
NO_2^-	Легкогидролизуемый	$\text{NO}_2 = 5\text{E} - 09 \Pi_i^2 - 2\text{E} - 07 \Pi_i$	0,716	$\text{NO}_2 = 5\text{E} - 09 \Pi_i^2 - 1\text{E} - 07 \Pi_i$	0,704
	Нитратный	$\text{NO}_2 = 3\text{E} - 08 \Pi_i^2 + 7\text{E} - 06 \Pi_i$	0,704	$\text{NO}_2 = 3\text{E} - 08 \Pi_i^2 + 1\text{E} - 05 \Pi_i$	0,712
Азот ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$)	Легкогидролизуемый	$\text{N} = 3\text{E} - 07 \Pi_i^2 + 3\text{E} - 06 \Pi_i$	0,837	$\text{N} = 3\text{E} - 06 \Pi_i^2 - 7\text{E} - 05 \Pi_i$	0,852
	Нитратный	$\text{N} = 0,0229 e^{0,0108\Pi_i}$	0,574	$\text{N} = 6\text{E} - 05 \Pi_i^2 + 0,0008 \Pi_i + 0,136$	0,801
P_2O_5	Подвижный Р по Мачигину	$\text{P}_2\text{O}_5 = 0,0002 e^{0,0007\Pi_i}$	0,778	$\text{P}_2\text{O}_5 = 3\text{E} - 10 \Pi_i^2 - 6\text{E} - 09 \Pi_i + 0,0002$	0,854
K_2O	Подвижный К по Мачигину	$\text{K}_2\text{O} = 2\text{E} - 08 \Pi_i^2 + 0,0002 \Pi_i + 0,0242$	0,804	$\text{K}_2\text{O} = 0,0265e + 0,0023 \Pi_i$	0,684

Таким образом, проведенные полевые исследования позволили установить зависимости между содержанием БЭ в почве и концентрацией этих элементов в жидкой фазе поверхностного стока талых и дождевых вод. По полученным уравнениям регрессии можно рассчитать концентрацию веществ в жидком стоке по содержанию элементов в почве по существующим в хозяйствах картограммам обеспеченности почв питательными элементами и добавив количество БЭ, внесенного с минеральными и органическими удобрениями.

Используя полученные коэффициенты выноса БЭ с жидким стоком, рассчитывается масса этих элементов, поступивших с твердым стоком, а самое главное, устанавливается масса i – БЭ, вынесенного с поля жидкой фазой поверхностного стока и со смытой почвой, что необходимо для разграничения ответственности земледельцев за ущерб, нанесенный поверхностным водным объектам.

5.10 Предварительная оценка влияния поверхностного стока на качество воды в водоприемниках

5.10.1 Условия разбавления и распространения загрязняющих веществ в водоприемниках на примере Центральной и Приазовской агроклиматических зон Ростовской области

Условия разбавления и распространения загрязняющих веществ в водоприемнике зависят от особенностей водных объектов и зависят от гидродинамического режима конкретного водоема. С этой целью была проведена типизация водных объектов, находящихся в зоне влияния изучаемых оросительных систем. В таблицах 147 и 148 представлены результаты типизации водных объектов рассматриваемых зон, выполненные на основе проведенных исследований.

Таблица 147 – Типизация водотоков по особенностям гидродинамического режима

Тип	Группа	Перемешивание	$Q_{\text{ср год}}, \text{ м}^3/\text{с}$	Грунт	Коэффициент Шези $C, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$	Уклон, %	Река (водоем)
Равнинные реки	Большие	Хорошее	Больше 250–500	Песок, ил, гравий	40–70	0,01–0,1	р. Дон
	Средние	Умеренное	От 25–50 до 250–500	Песок, ил, гравий	30–60	0,06–1,2	р. Зап. Маныч
	Малые	Слабое	От 2,5–5,0 до 25–50	Песок, ил	30–50	0,05–1,0	р. Сал р. Подпольная р. Егорлык
	Ручьи	Слабое	Меньше 2,5–5,0	Песок, ил	10–30	–	Сухая Кугульта Мокрая Кугульта Сибирте Соленый Соленка Кучурда Сладкий Подпольный

Таблица 148 – Типизация озер по характеристикам, определяющим условия перемешивания в них поверхностного стока (по А. В. Караушеву [217])

Тип	Группа по площади зеркала	Характер перемешивания	Водоемы и озера
Глубоководные, слабопроточные	Большие (более 250 км ²)	Умеренное	Веселовское водохранилище
	Средние (от 50 до 250 км ²)	Умеренное	–
	Малые (до 50 км ²)	Умеренное	л. Шахаевский л. Западенский
Мелководные, сильнопроточные	Средние (от 50 до 250 км ²)	Умеренное	–
	Малые (до 50 км ²)	Умеренное и слабое	л. Смеловский
Мелководные бессточные и слабосточные	Средние (от 50 до 250 км ²)	Умеренное и слабое	–
	Малые (до 50 км ²)	Умеренное и слабое	оз. Соленое оз. Платовское оз. Дарья оз. Западенское л. Спорный оз. Подпольное оз. Черюмкинское ер. Подпольный оз. Большой Лиман оз. Генеральское оз. Беяево оз. Круглое оз. Песчаное оз. Кривое оз. Гиловет б. Большая Садковка б. Малая Садковка оз. Большое

На основе анализа этих таблиц можно сделать вывод о том, что территория Центральной зоны насыщена мелководными слабосточными или бессточными водоемами, местами заболочена.

В области Центральной (орошаемой) зоны преобладают мелкие ручьи, протекающие по балкам. Река Маныч и Веселовское водохранилище загрязняются поверхностными стоками с рассматриваемых зон.

Разбавление поверхностного стока, поступающего в поверхностные водные объекты, находится под комплексным влиянием следующих основных факторов и характеризуется:

- гидрологическими и гидродинамическими особенностями водоемов и водотоков, в которые попадают поверхностные и грунтовые воды;
- природными и сельскохозяйственными особенностями территорий, с которых происходит сток высокоминерализованных вод.

К первой группе следует отнести переносное движение и турбулентность водных масс с обуславливающими их причинами, такими как сток воды, ветер,

морфометрические характеристики русла водотока или ложа водоема, шероховатость. К этой же группе относятся свойства водной среды и состав содержащихся в ней веществ. Существенная роль в первой группе факторов принадлежит поперечным течениям, расширяющим области распространения сточных вод и способствующим усилению перемешивания водных масс в потоках и водоемах.

Вторая группа включает такие факторы, как количество осадков, поливная и оросительная нормы, природная дренированность, число, форма и параметры выпускных областей береговых зон, расход и относительная скорость истечения сбросных вод, физические свойства, концентрация загрязняющих ингредиентов. В зависимости от распределительной части береговой линии, поступления поверхностного стока делятся на сосредоточенные и рассеивающие. Для последних характерно увеличение длины фронта распространения загрязняющих вод. Можно считать установленным, что при достаточных скоростях течения в водотоке или водоеме разбавление протекает более интенсивно в случае рассеивающих поступлений поверхностного стока; расстояние до створа с заданной степенью перемешивания в этом случае оказывается меньшим, чем при сосредоточенном выпуске. Очевидно также, что разбавление зависит от характера поступающих в водоемы веществ и их количественных соотношений.

При расчете турбулентного перемешивания в водоемах прежде всего следует назначить расчетные расходы воды. В соответствии с расходом определяются площадь живого сечения, средняя скорость течения, уклон водной поверхности, средняя ширина и глубина потока. После этого вычисляются (или определяются в результате измерений) поперечные составляющие скорости на закруглении речного потока.

В настоящее время, при построении областей качества воды, большинство исследователей исходят из уравнения турбулентной диффузии.

Классическое уравнение турбулентной диффузии имеет вид:

$$\frac{\delta S}{\delta t} + v_x \frac{\delta S}{\delta x} + v_y \frac{\delta S}{\delta y} + v_z \frac{\delta S}{\delta z} = D_x \frac{\delta^2 S}{\delta x^2} + D_y \frac{\delta^2 S}{\delta y^2} + D_z \frac{\delta^2 S}{\delta z^2} + F(x, y, z, t), \quad (54)$$

где $S(x, y, z, t)$ – концентрация загрязняющего вещества;

v_x, v_y, v_z – компоненты скорости течения в направлении соответствующих осей x, y, z , где ось x направлена вниз по течению, ось y – поперек, z – вертикально вверх;

D_x, D_y, D_z – коэффициенты турбулентной дисперсии в соответствующих направлениях;

F – функция источника, определяющая приток и отток загрязняющих веществ.

Уравнение турбулентной диффузии можно выразить в форме конечных разностей. Для этого случая дифференциалы $\delta_x, \delta_y, \delta_z, \delta_S$ заменяются конечными приращениями $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta S$. Далее вся расчетная область делится плоскостями, параллельными координатным на расчетные клетки (рисунок 148).

Расчетная зависимость для этого случая имеет вид:

$$S_{k+1,n,m} = \frac{1}{4}(S_{k,n+1,m} + S_{k,n-1,m} + S_{k,n,m+1} + S_{k,n,m-1}) \quad (55)$$

При этом должно выполняться условие:

$$\Delta x = \frac{V_{cp} \cdot \Delta z^2}{4 \cdot D} \quad (56)$$

где V_{cp} – средняя скорость потока, м/с;
 D – коэффициент диффузии.

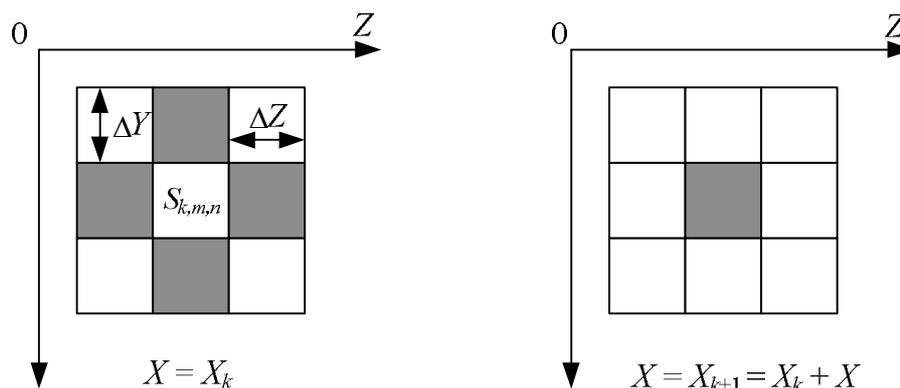


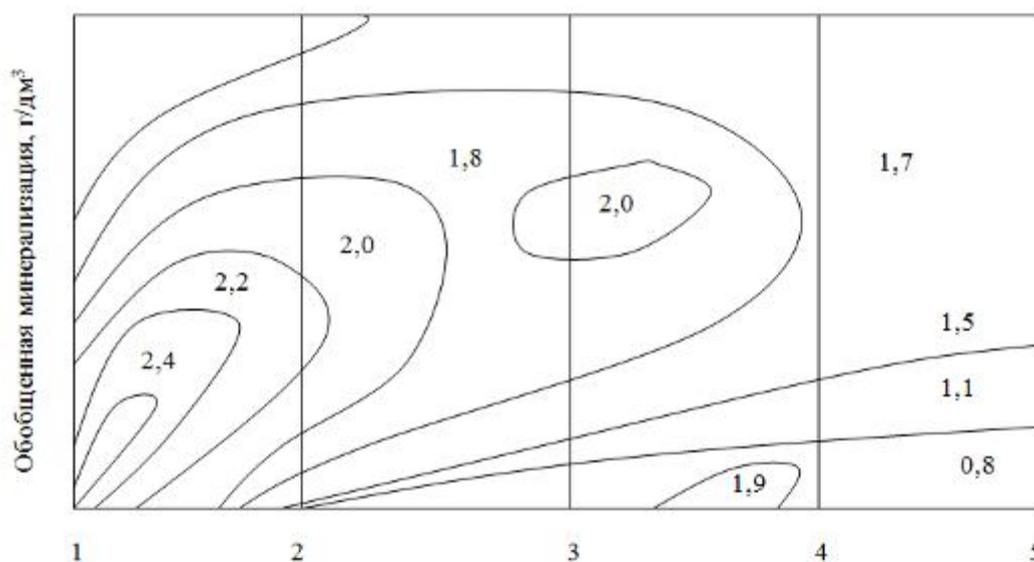
Рисунок 148 – Расчетные клетки к определению турбулентной диффузии

При расчете турбулентной диффузии рассматриваемую часть потока делят на клетки со сторонами Δx и Δz , получая сетку, на которую в начальном створе наносят общую площадь загрязненной струи и концентрацию загрязняющего вещества. Указанный метод расчета полей концентраций предложен А. В. Караушевым и является общепризнанным [217].

В процессе анализа полученных решений выяснено, что неоднородность поля концентрации загрязняющих веществ в вертикальном направлении нужно учитывать только на небольшом участке ниже поверхностного стока поверхностных вод.

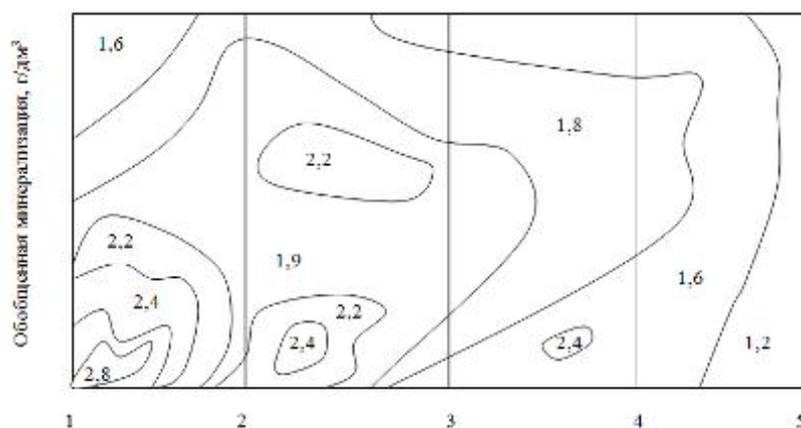
Такое предположение подтвердилось полевыми наблюдениями и результатами химических анализов, выполненных в лаборатории РосНИИПМ.

Обобщенная динамика полей концентраций загрязняющих веществ, выполненная в первом приближении, в зависимости от проведенной типизации водных объектов, находящихся в вышеобозначенных зонах, представлена на рисунках 149–153.



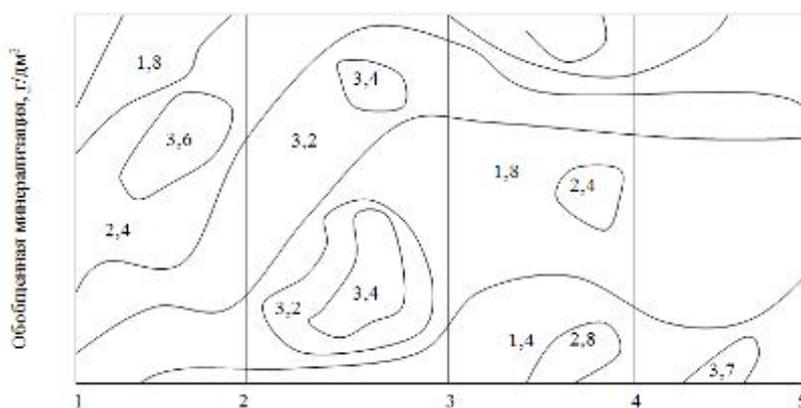
1, 2, 3, 4, 5 – створы наблюдений. Расстояние между створами 100 м

Рисунок 149 – Предварительные данные по распределению концентраций загрязняющих веществ, поступающих при неорганизованном береговом, рассеивающем стоке в р. Западный Маныч



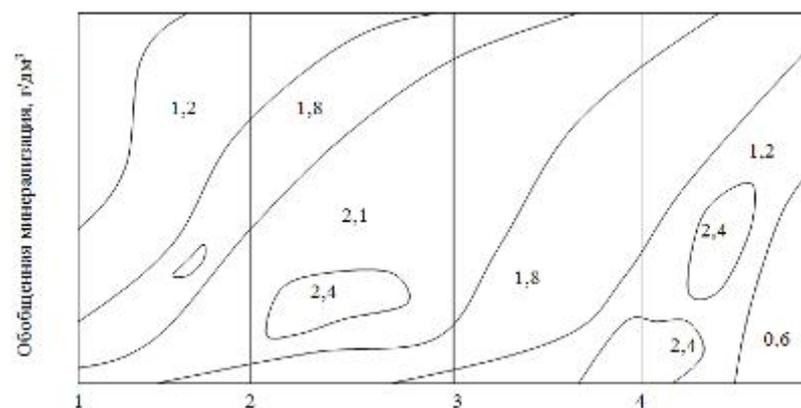
1, 2, 3, 4, 5 – створы наблюдений. Расстояние между створами 50 м

Рисунок 150 – Предварительные данные по распределению концентраций загрязняющих веществ, поступающих при неорганизованном береговом, рассеивающем стоке в р. Сал и р. Подпольная



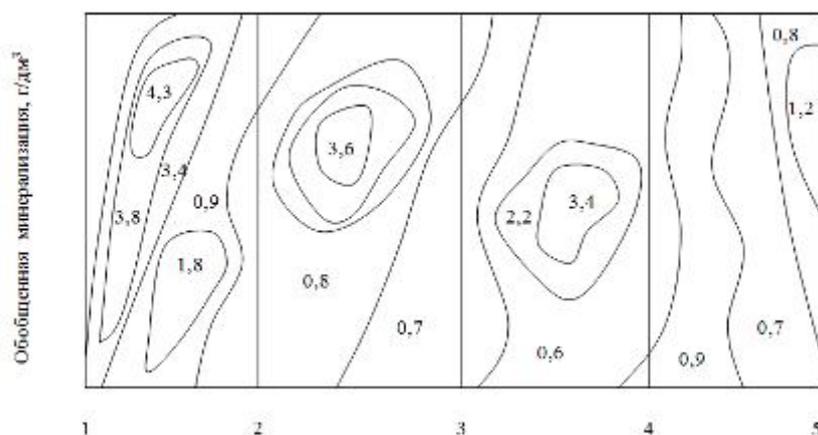
1, 2, 3, 4, 5 – створы наблюдений. Расстояние между створами 50 м

Рисунок 151 – Распределение концентраций загрязняющих веществ, поступающих при неорганизованном береговом, рассеивающем стоке в ручьи, протекающие по территории Сальского УОС



1, 2, 3, 4, 5 – створы наблюдений. Расстояние между створами 100 м

Рисунок 152 – Распределение концентраций загрязняющих веществ, поступающих при неорганизованном береговом, рассеивающем стоке в Веселовское водохранилище



1, 2, 3, 4, 5 – створы наблюдений. Расстояние между створами 50 м

Рисунок 153 – Распределение концентраций загрязняющих веществ, поступающих при неорганизованном береговом, рассеивающем стоке в озера Солёное и Платовское

Исходя из результатов полевых наблюдений и представленной динамики, можно делать вывод о том, что процесс смешения вод водоемов с загрязненным поверхностным стоком зависит от соотношения расходов водотоков и поступающих загрязненных вод и от скоростей течения в водоеме-водоприемнике. Определение длины участка поля концентрации, в вертикальном направлении, не играет существенной роли при решении поставленной задачи, поэтому в дальнейшем поле концентрации можно считать двумерным, зависящим только от x и y .

В зависимости от принятых допущений, поперечное русло водотока считали прямоугольным и на основании методик [218] получили формулы для определения поля концентрации. При составлении формулы для условий берегового рассеивающего сброса загрязненных вод с орошаемых массивов оперируют средними гидравлическими характеристиками водотока B, V, Q, H (ширина, м; скорость, м/с; расход, м³/с; глубина, м):

$$0 \leq x \leq 0,5 \frac{B^2 V}{D_y} - L, \quad (57)$$

где B – ширина водотока, м;
 V – скорость водотока, м/с;
 D_y – коэффициент диффузии;
 L – длина участка, м.

Для рассеивающего сброса с берега формула для определения поля концентрации имеет вид [217]:

$$S_{(x,y)} = \frac{C \cdot q}{L \cdot V \cdot H} \left[F \left(\frac{L-y}{\sqrt{2D_y \frac{x}{v}}} \right) + F \left(\frac{L+y}{\sqrt{2D_y \frac{x}{v}}} \right) + F \left(\frac{2B+L-y}{\sqrt{2D_y \frac{x}{v}}} \right) - F \left(\frac{2B-L-y}{\sqrt{2D_y \frac{x}{v}}} \right) - F \left(\frac{-2B-L-y}{\sqrt{2D_y \frac{x}{v}}} \right) + F \left(\frac{-2B+L-y}{\sqrt{2D_y \frac{x}{v}}} \right) \right] + C_F, \quad (58)$$

где ν – коэффициент смешения, показывающий, какая часть расхода стока смешивается с водой водоема;

$F(x)$ – функция ошибок.

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{d^2}{2}} \cdot d_{\alpha} . \quad (59)$$

Существуют и упрощенные методы расчета, такие как экспресс метод ГГИ; метод Таллиннского политехнического института; метод РосНИИВХ; метод ВОДГЕО и др. На основе анализа и сравнения данных существующих методов с результатами натуральных наблюдений составлена таблица 149.

Таблица 149 – Сопоставление результатов расчетов расстояний до створа полного смешения с натурными показателями

Река, водоем		Метод расчета								
		В. А. Фролов (метод ВОДГЕО)	И. Д. Родзиллер (уточненный метод ВОДГЕО)	А. В. Караушев	В. В. Мороков (метод Урал НИИВХ)	М. А. Бесценная (экспресс метод ГГИ)	Л. Л. Паль (метод ТПИ)	Руффель	М. Д. Шестаков	Данные натуральных измерений
Равнинные реки	Средние (р. Маныч)	1800	350	930	97	352	13990	2,64	18030	474
	Малые (р. Сал)	15000	310	1250	78	490	16720	1,23	45700	515
	р. Подпольная	1550	310	1300	89	484	17800	1,34	48400	510
Озера	1 тип, малые (л. Шахевский)	23000	400	740	90	620	32010	5,34	67270	685
	2 тип, малые (л. Смеловский)	42000	460	570	94	591	47855	6,37	78320	630

Результаты расчетов по методам авторов показали, что из всех способов приближенное совпадение имеют данные, рассчитанные по методам А. В. Караушева [217], И. Д. Родзиллера [218], М. А. Бесценной [219].

По результатам наблюдается расхождение данных. Такое положение можно объяснить тем, что не все авторы указывают область применения своих методов, применение того или иного решения следует определять конкретной задачей, требуемой точностью ее решения, а также обеспеченностью проводимых расчетов реальной исходной информацией.

Для определения расстояния до створа полного смешивания дренажных вод в водоеме более всего подходит экспресс-метод М. А. Бесценной. По этому методу расстояние до створа полного смешивания речных и дренажных вод рекомендуется определять с учетом эмпирических коэффициентов (таблица 150).

Таблица 150 – Сравнительный анализ коэффициентов, уточняющих экспресс-метод М. А. Бесценной для рек и водоемов Ростовской области [219]

Метод расчета, эксперимент	р. Маныч			р. Сал			б. Садковская		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Метод М. А. Бесценной, м	355	354	348	490	485	492	614	591	578
Данные эксперимента, м	470	465	467	515	510	525	690	670	665
Эмпирический коэффициент K_y	1,380	1,310	1,342	1,051	1,052	1,067	1,124	1,134	1,150

Следует также отметить, что результаты расчетов по каждому из методов могут дать удовлетворительное совпадение с натурными данными, если входящие в них эмпирические коэффициенты уточнить путем проведения предварительных экспериментальных исследований на каждом рассматриваемом водоеме. Анализируя существующие модели, можно прийти к выводу о том, что при практическом решении уравнений турбулентной диффузии основную трудность представляет определение коэффициентов дисперсии.

Воды поверхностного стока, вымывающие химические вещества с сельскохозяйственных угодий, формируются на водосборах в основном в период таяния снега и выпадения дождей. При этом, как показывают исследования, большое значение имеет генезис поверхностного стока, особенно в период весеннего половодья. Подробное исследование поверхностного стока с сельхозугодий проводилось на р. Маныч.

Концентрация основных ионов (рисунки 154–156), поступающих с поверхностным стоком в р. Маныч, характеризуется сезонной закономерностью, которая хорошо прослеживается по построенным аналитическим кривым. Причем вклад поверхностного стока с земель сельскохозяйственного использования в загрязнение вод данной реки можно выделить на основании даже самого приближенного анализа. В период поступления талого стока, весной и во время преобладания дождевых осадков осенью наблюдаются достаточно большие величины поступления загрязнителей в поверхностные водные объекты. Летом, в период засух и эпизодических дождей, ущерб, причиняемый поверхностным стоком водам р. Маныч минимален. Наиболее критическая ситуация складывается при выпадении дождей в период интенсивного таяния снега на водосборах.

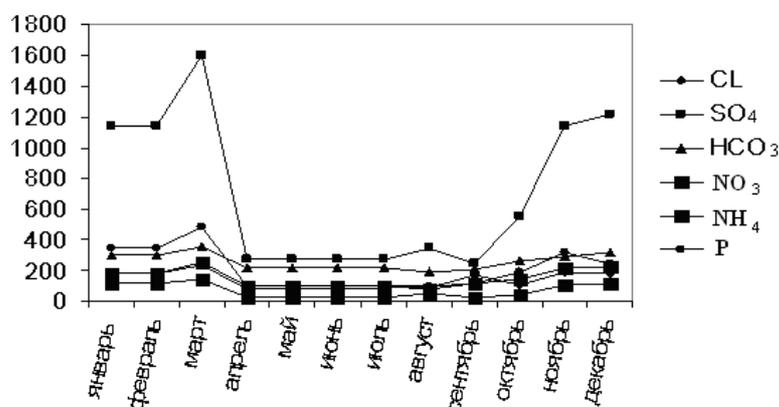


Рисунок 154 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор В-1, Веселовского района Центральной агроклиматической зоны, водоприемник – р. Маныч), 2006 г.

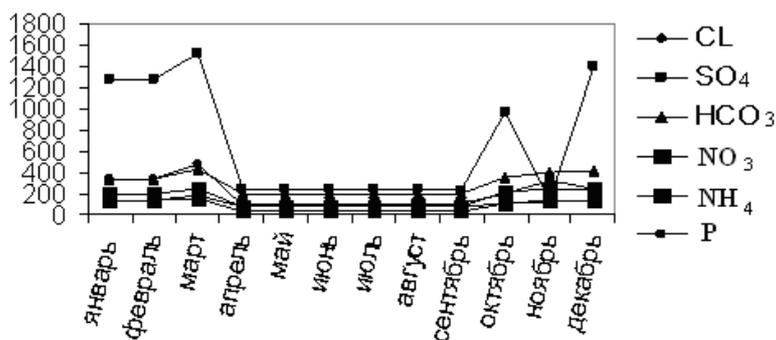


Рисунок 155 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор В-2, Веселовского района Центральной агроклиматической зоны, водоприемник – р. Маныч), 2006 г.

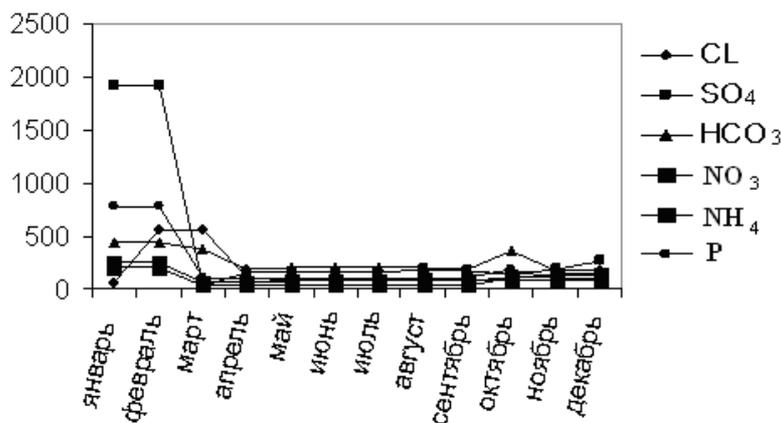


Рисунок 156 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор В-3, Веселовский района Центральной агроклиматической зоны, водоприемник – р. Маныч), 2006 г.

Осенью дождливый период на территории водосбора В-1 (рисунок 154) и эпизодические дожди на водосборе В-2 (рисунок 155) внесли свой вклад в смыв поверхностным стоком загрязнителей, особенно ионов хлора. Относительно сухой осенний период на территории водосбора В-3 (рисунок 156) позволил снизить смыв ионов в р. Маныч по сравнению с началом года, когда выпадали осадки, и поверхностный сток внес достаточно значительные концентрации загрязнителей в водоприемник.

Вполне закономерный процесс выноса химических элементов в поверхностные водные объекты наблюдается и на водосборах Б-1, Б-2 и Б-3 (рисунки 157–159), расположенных в Багаевском районе Ростовской области. Некоторое увеличение смыва химических соединений по сравнению с водосборами Веселовского района объясняется наличием рельефа, который характеризуется менее пологими склонами. Здесь, также как и на вышеописанных графиках, прослеживаются пиковые концентрации загрязнения вод поверхностных водных объектов в весенний и осенний периоды. Однако небольшие отличия (в зимний период) объясняются наличием слабой ледяной корки на продуваемых склонах Багаевского района, по которым частично прошел сток в период оттепелей и незначительных осадков.

Орошаемые массивы на территориях обследуемых водосборов внесли малый вклад в формирование поверхностного стока, за исключением времени проведения весенних влагозарядковых поливов.

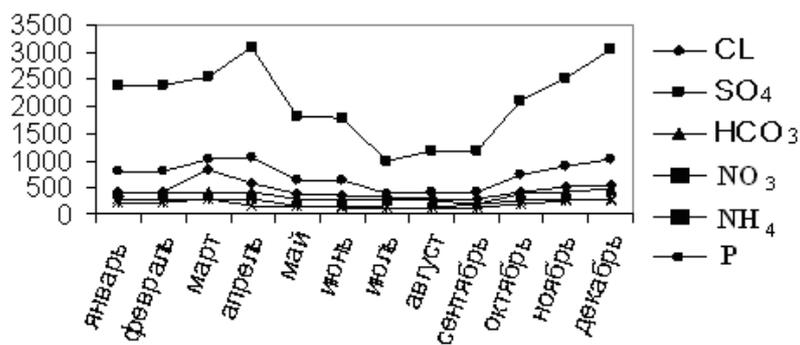


Рисунок 157 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор Б-1, Багаевского района Центральной агроклиматической зоны, водоприемник – лиман Смеловский), 2006 г.

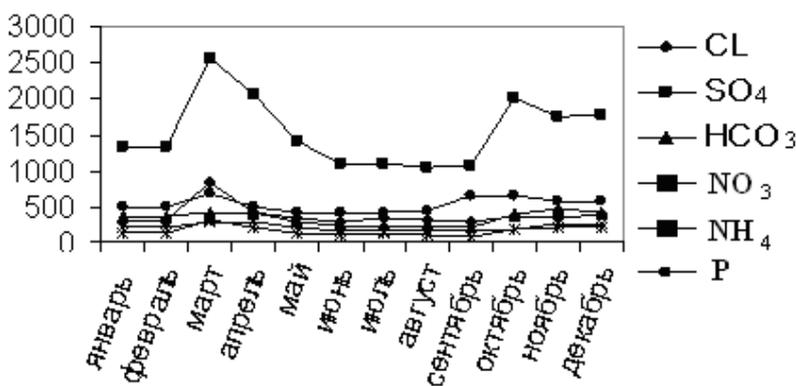


Рисунок 158 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор Б-2, Багаевского района Центральной агроклиматической зоны, водоприемник – р. Маньч), 2006 г.

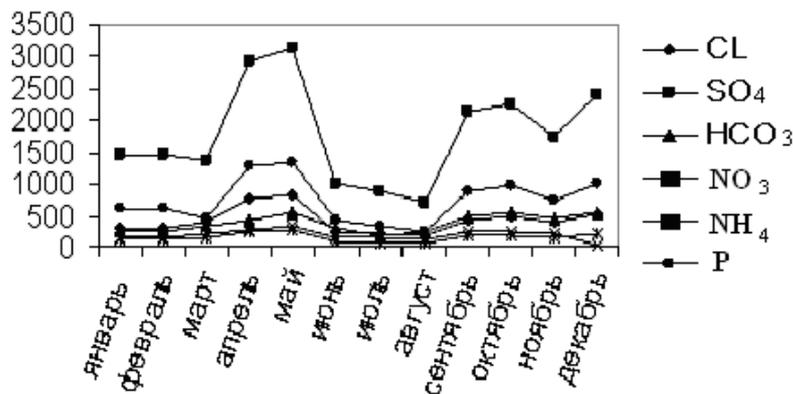


Рисунок 159 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор Б-3, Багаевского района Центральной агроклиматической зоны, водоприемник – р. Дон), 2006 г.

Кардинальным образом меняется ситуация с загрязнением поверхностным стоком р. Дон, который формируется на орошаемых полях Семикаракорского района (рисунки 160, 161). В летний засушливый период на поля подавались завышенные оросительные нормы, сток с которых обеспечил частичный смыв загрязнителей, превышающий аналогичные показатели по предыдущим районам за этот период.

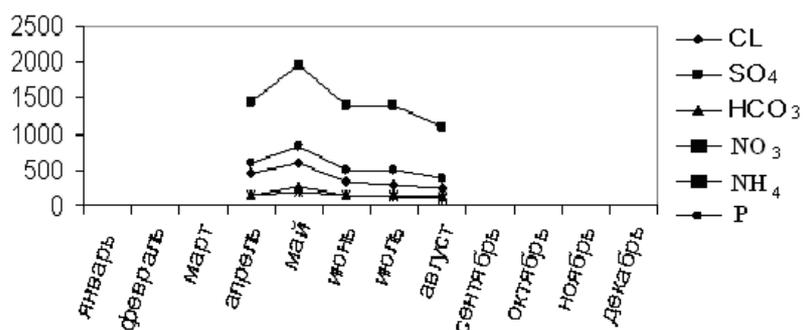


Рисунок 160 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор С-1, Семикаракорского района Центральной агроклиматической зоны, водоприемник – р. Дон), 2006 г.

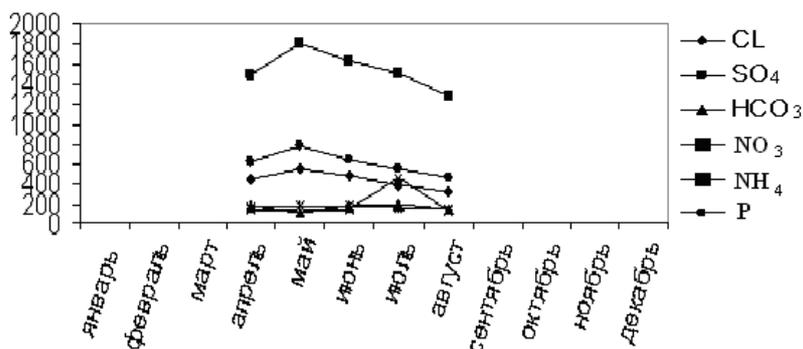


Рисунок 161 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор С-2, Семикаракорского района Центральной агроклиматической зоны, водоприемник – р. Дон), 2006 г.

Проведение оценки ущерба, наносимого поверхностным стоком в зимний, весенний и осенний периоды с территорий водосборов С-1 и С-2, планомерно осуществлено РосНИИПМ в 2007–2008 гг.

Практически идентичные затраты удобрений на производство продукции основных сельскохозяйственных культур в хозяйствах Приазовской агроклиматической зоны. Но климат и относительно равномерное распределение осадков в течение года предопределили рассредоточенное формирование ущерба от поверхностного стока р. Дон и оз. Генеральское (рисунки 162–164).

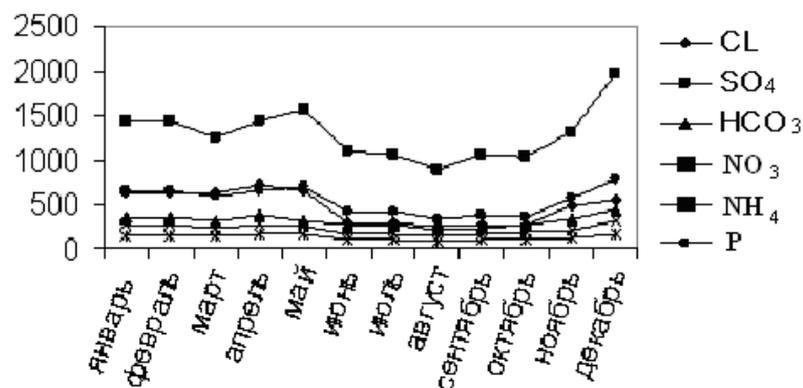


Рисунок 162 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор А-2, Аксайского района Приазовской агроклиматической зоны, водоприемник – р. Дон), 2006 г.

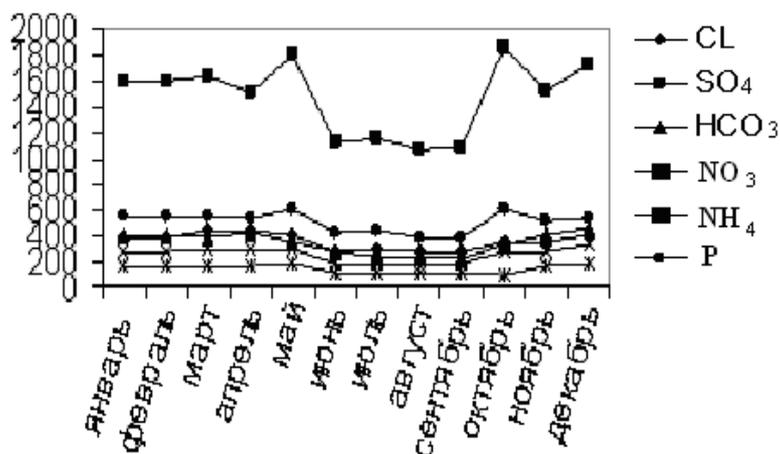


Рисунок 163 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор А-2, Аксайского района Приазовской агроклиматической зоны, водоприемник – оз. Генеральское), 2006 г.

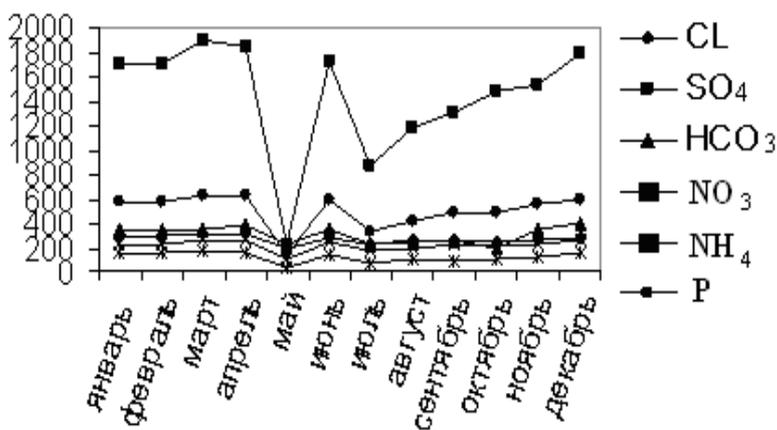


Рисунок 164 – Концентрация ионов в мг/дм³ в поверхностном стоке (водосбор А-3, Аксайского района Приазовской агроклиматической зоны, водоприемник – р. Дон), 2006 г.

Следует отметить, что процессы загрязнения водоприемника оз. Генеральское (рисунок 163) обусловлены в значительной степени выпором высокоминерализованных грунтовых вод, частичное разбавление которых происходит в летний период за счет сброса излишков воды с Азовской оросительной системы. Поэтому данный объект был нами исключен из числа объектов-представителей. Смещение динамики выноса по времени и появление нехарактерных пиковых сбросов (рисунок 164) вызвано имеющимися отличиями в сроках и интенсивности поливов, внесении норм удобрений, проведении агротехнических приемов. Это обусловлено практическим отсутствием внедрения научных разработок для современных эколого-экономических условий ведения сельскохозяйственного производства, неравномерным финансированием агротехнических мероприятий и другими факторами.

В заключение следует отметить, что загрязнение вод поверхностных источников обусловлено не локальными крупными сбросами, а многочисленными мелкими притоками поверхностного стока с земель сельскохозяйственного использования.

Проведенные данные обследования и сделанная оценка влияния поверхностного стока на качество воды в водоприемниках будут являться основой для проведения ситуационного и стратегического анализа состояния решаемой проблемы.

Создание информационной базы по поступающим загрязнителям со стоком в поверхностные водные объекты позволяет использовать их для улучшения условий эффективного комплексного использования природных ресурсов земельных и водных объектов при сохранении требуемого уровня качества окружающей природной среды, восстановления и сохранения водных и земельных объектов как естественных компонентов природной среды за счет принятия своевременных нормативных, технических и управленческих решений по назначению компенсационных мероприятий.

5.10.2 Использование дистанционных методов при определении смыва почвы, объемов поверхностного стока и экологического состояния агроландшафтов

Достижения науки за последние десятилетия позволили внедрять в практику дистанционные методы определения поверхностного стока, эрозии и смыва почвы, уклонов поверхности почвы, содержания биогенных веществ в воде и в верхнем слое почвы. Аэро- и космическое зондирование поверхности сельскохозяйственных земель позволяет с достаточно высокой точностью определять необходимые показатели и значительно снизить трудозатраты на натурные обследования территорий водосборов для определения нанесенного вреда и ущерба поверхностных водных объектов (ПВО) от поступления загрязняющих веществ. Это наиболее перспективный метод. Остановимся на особенностях этого метода.

Основой способа дешифрирования площадного характера и объемов смыва эрозии почв является следующая процедура: на космических снимках (например, М 1:1000000) с разрешающей способностью от 200 до 70 м на местности и полученных со спутников в режиме многоспектральных сканерных снимков по характеру расположения дендритового (ветвистого) рисунка визуально проводится линия границы примыкания противоположных водораздельных пространств. На снимке – в местах, где концевые ветви овражно-балочной сети (как правило) не смыкаются друг с другом.

Степень смытости (или эродированности и дефляции) определяется по освещению тона (или цвета) соответственно на черно-белых или цветных и (или) спектрональных снимках. Уклон (в градусах) определяется по топографическим картам, соответствующим масштабу снимков.

Имея парные снимки, рельеф можно определять стереоскопическим методом. Перспективны в этом случае мелко- и среднемасштабные аэрофотоснимки. Крупномасштабные аэрофотоснимки используются на ранее намеченных ключевых участках, типичных для данной природной зоны. Поскольку снимки четко отображают несколько бассейнов (площадей водосбора), их взаимосвязи и взаимопроникновения, длину, экспозицию, особенности характера (и состояния) размыва или степени дефляции, то появляется возможность по прямым дешифровочным признакам визуально или инструментально определять площади смыва, объемы потерь в зависимости от крутизны и экспозиции склона – в пространстве.

Повторные снимки позволяют проводить оперативные мониторинговые измерения.

Интерактивный режим работы при обработке космической информации позволяет безошибочно осуществлять привязку, распознавание и тематическое дешифрирование. Для этих целей на заданную территорию заказываются ранневесенние и позднесенние снимки, полученные с многоспектральных сканирующих систем, установленных на спутниках.

Преимущество такой информации перед пилотируемыми космическими аппаратами заключается в том, что она оперативно передается (в цифровом режиме) в центр обработки информации, в автоматическом режиме обрабатывается и поступает заказчику. Мелкомасштабная ($M > 1$ млн) информация позволяет осуществлять районирование территории и точно выбрать ключевые участки для детальных (полевых) исследований на них. Среднемасштабные космические снимки (от 1 до 0,5 млн) необходимы для составления тематических карт; крупномасштабные космические снимки необходимы для работ на ключевых участках. Необходимо отметить, что без ущерба разрешающей способности снимки могут быть увеличены в 2–5 раз, что позволит сократить затраты при натурной съемке.

Пространственная дифференциация изображения агроландшафта в нескольких диапазонах электромагнитного спектра позволяет точно распознать величину площадей водосбора, оценить степень смыва и объемы потерь биогенных элементов (N, P, K, Ca, а также гумуса), переносимую массу мелкозема и его гранулометрический состав.

Зная абсолютное значение выноса для склонов разной крутизны и экспозиции, нетрудно посчитать общую сумму потерь с данной площади водосбора.

В качестве примера приводится фрагмент топографической карты М 1:1500000 на Ростовскую область и изображение этого агроландшафта на космическом снимке примерно того же масштаба. Даже без инструментальной обработки видна степень расчленения территории речной сетью (рисунок 165) и примыкающих к ней овражно-балочных систем (рисунок 166).

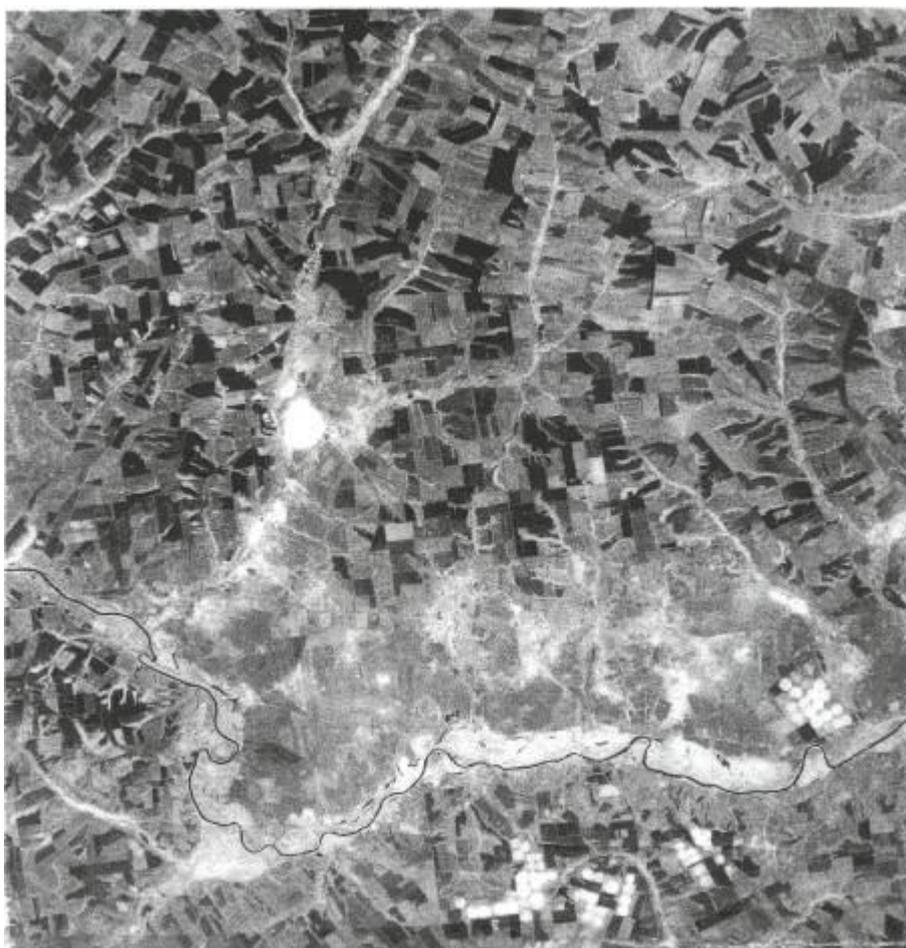


Рисунок 165 – Фото космического зондирования участка водосбора левой излучины р. Дон (ст. Вешенская) Ростовской области

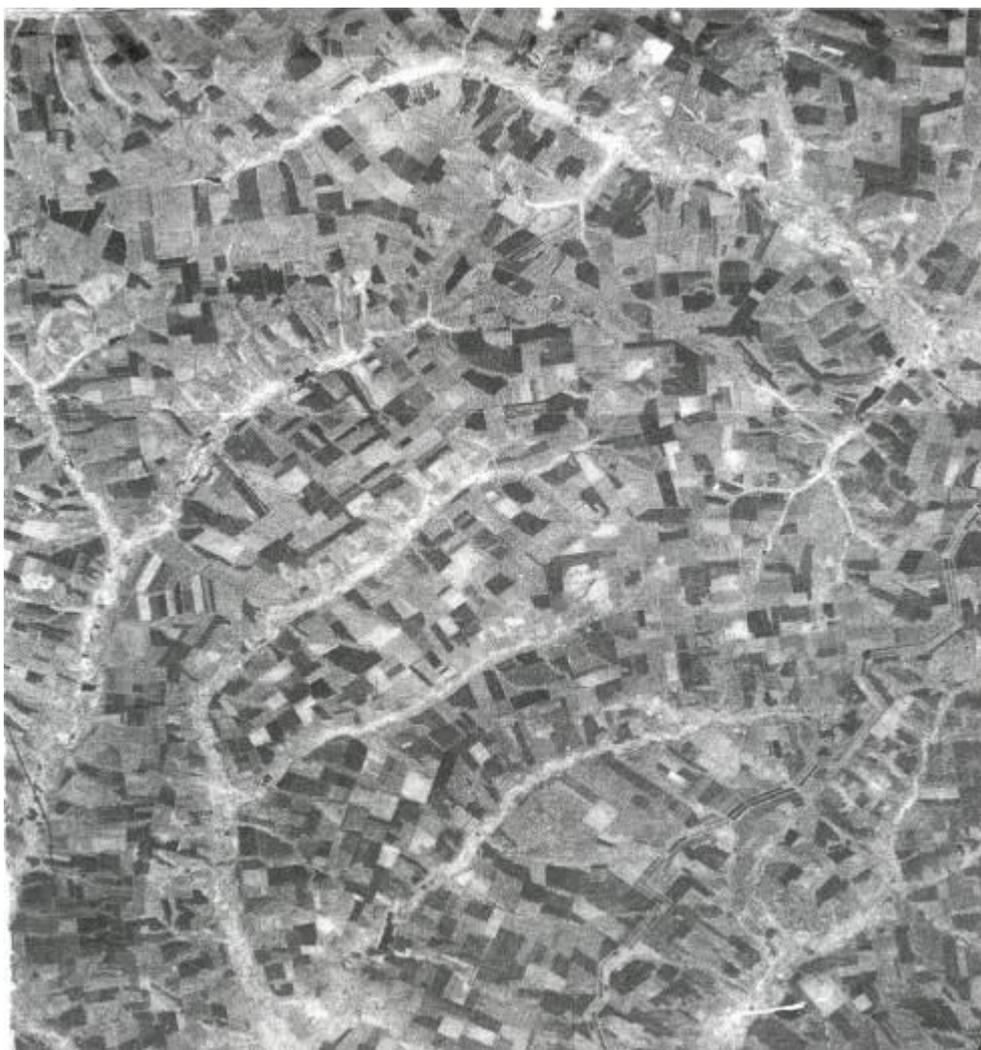


Рисунок 166 – Карта космического зондирования участка водосбора в районе г. Белая Калитва Ростовской области

Распаханность территории составляет 90–92 % (снимок летний – июль, 2008 г.). Пашня примыкает к бровкам балок, усиливая смыв при ливневых весенних и летних потоках. Видна дифференциация по направлению различных бассейнов рек. Предполагается использовать данную территорию в качестве «ключевого» участка – между левой излучиной р. Дон (ст. Вешенская) до впадения р. Калитва в р. Северский Донец, так как на протяжении с севера на юг падение рельефа на 130–140 км составляет более 80 м.

Многолетними исследованиями других авторов [220] установлено, что интенсивность проявления эрозионных процессов на Дону развивалась пропорционально увеличению площади распаханной территории. С целью оценки интенсивности развития эрозионных процессов на черноземах обыкновенных Приазовской наклонной равнины были проанализированы материалы аэро- и космосъемки, проводимые в 1945, 1976, 1989 и 2012 гг. и материалы полевых исследований 2008–2010 гг.

Изучаемая территория представлена балкой Бирючьей со склоновыми притворными и водосборными площадями, используемыми под пашню до уреза балки. Склоны балки представлены естественными пастбищами. Согласно внутрихозяйственному землеустройству на рассматриваемой территории располагаются два поля полевого севооборота (№ 8 и № 9).

В результате проведенного анализа материалов аэросъемок 1945 и 1976 гг.

установлено, что в 1945 г. организация территории заключалась в ее разбивке на поля при отсутствии полевых защитных лесных полос и овражно-балочных насаждений, прибалочные участки склонов были изрезаны ложбинами в сильной степени, крутизна склонов оврагов в отрожинах и по дну балки была выражена очень четко.

Сравнивая результаты аэросъемки 1945 г. и последующих лет (рисунки 167, 168), можно говорить о радикальных изменениях организации территории. В 1976 году наблюдалось наличие полевых защитных и прибалочных лесных полос, посаженных по границам полей, количество которых в 1989 году увеличилось.



Рисунок 167 – Аэросъемка опытных участков 1945 и 1976 гг.



Рисунок 168 – Аэрофотосъемка района исследований 1989 г. и космический снимок 2012 г.

Рост крупных отрожин балки приостановлен уже к 1976 году и в последующие годы остался практически без изменений. Наблюдается постепенное развитие

ложбин на склоновых землях, сползание откосов балки. В устье ложбин образовались заросли терновника.

В период 2008–2010 гг. нами оценивалось развитие эрозионных процессов на указанных полях под защитой лесных насаждений и без них. Было отмечено, что в 2008 году имел место сток талых вод, а в 2008 и 2010 годах в летний период – сток ливневых вод.

В 2008 году глубина промерзания почвы на ложбинно-балочном типе агроландшафта (поле № 8) без лесных полос составила 43–45 см, что связано с незначительной мощностью снежного покрова – 11–12 см. На ложбинно-балочном водосборе с системой лесных полос (поле № 9) глубина промерзания почвы была на 6–7 см меньше, что связано с равномерным перераспределением и задержанием части переносимого ветром снега.

Поверхностный сток слабой интенсивности сформировался в конце января после выпадения 16 мм жидких осадков. Запасы воды в снеге на этот период составляли на поле без системы почвозащитных мероприятий 40–43 мм, на поле с лесными полосами – 57–64 мм.

Особенности снегоотложения и снеготаяния на поле с лесными полосами предопределили специфику таяния снега. Сначала снег интенсивно таял в центре межполосного пространства, значительно позже – в шлейфовой зоне лесных полос. Это определило условия прохождения стока талых вод и проявление смыва – аккумуляции почв в разных зонах межполосного пространства (таблица 151). При расчетах учитывались показатели крутизны и экспозиции склона, длина линии стока, эродированность, податливость смыву.

Таблица 151 – Смыв почвы талыми водами на зяби в системе стокорегулирующих лесных полос и без них, 2008 г.

Угодье	Крутизна склона, °	Смыв почвы, т/га
Участок без лесных полос	1,5–1,8	3,2
	3,5–4	17,9
Участок с лесными полосами	1,5–1,8	0
	3,5–4	2,9

Так, на склоне крутизной до 2° в поглощении поверхностного стока участвовали не только лесные полосы, но и контурно-полосное размещение отвальной зяби, чередующейся с зябью, обработанной чизелем ПЧ-4,5. Элементы поверхностного стока если и возникали, то они поглощались стерневым фоном при безотвальной обработке, где величина водопроницаемости почвы была в 1,7–1,9 раза выше, чем при отвальной вспашке.

Иная картина наблюдалась на участках с отвальной вспашкой почвы. Здесь, несмотря на меньшие запасы воды в снеге (на 15–22 мм), интенсивность эрозионных процессов нарастала от верхней части склона к его подножию. Если на склонах 1,5–1,8° имел место плоскостный смыв слабой интенсивности (3,2 т/га), то в нижней части склона он переходил в струйчатый размыв. Глубина промоин составляла 5–9 см, а ширина – 35–61 см. Общее количество смытой почвы – 17,9 т/га.

В последующие годы смыва почвы в период снеготаяния не наблюдалось.

По-иному проявлялись эрозионные процессы в летний период при выпадении ливневых дождей. Атмосферные осадки суммой 29,5 мм и интенсивностью 1,45 мм/мин, прошедшие в июле 2008 года, и суммой 34,0 мм и интенсивностью 1,00 мм/мин, выпавшие в июле 2010 года, привели к смыву почвы, объемы которого приведены в таблице 152.

Таблица 152 – Смыв почвы ливневыми водами на чистом пару и подсолнечнике

Угодье	Крутизна склона, °	Смыв почвы, т/га
Чистый пар, 2008 год		
Участок без лесных полос	1,5–1,8	5,8
	3,5–4	29,7
Участок с лесными полосами	1,5–1,8	1,9
	3,5–4	9,7
Подсолнечник, 2010 год		
Участок без лесных полос	1,5–1,8	1,9
	3,5–4	9,7
Участок с лесными полосами	1,5–1,8	0
	3,5–4	2,1

В 2008 году оба поля находились под чистым паром. На опытном участке полосы чистого пара чередовались с посевами ярового ячменя. В 2010 году на обоих участках возделывался подсолнечник, на опытном поле полосы посевов подсолнечника чередовались с озимой пшеницей.

Отсутствие каких-либо почвозащитных мероприятий при сплошном размещении чистого пара привело к потере 5,8 т/га почвы на склонах крутизной 1,5–1,8° и 29,7 т/га – на склонах крутизной 3,5–4°. Вся эта почва транзитом проходила по овражно-балочной сети и оседала в пруду, расположенном ниже поля.

На участке с полосным размещением культур за 10 дней до выпадения ливня яровой ячмень был убран, а поле обработано дисковыми луцильниками на глубину 10–12 см. Количество стерни и пожнивных остатков, учтенное методом рамок, составило 2,42 т/га. Наличие стерни на поле способствовало практически полному поглощению дождя. Небольшой объем смываемой почвы с полос чистого пара (0,9–3,4 т/га) оседал на задискованной полосе из-под ярового ячменя. Лесные полосы в задержании смытой почвы и поверхностного стока не участвовали. Это еще раз подтвердило выводы Е. В. Полуэктова [221–224] о том, что сток от ливневых дождей интенсивностью до 1,5 мм/мин нейтрализуется агротехническими приемами, к числу которых относится контурно-полосное размещение сельскохозяйственных культур и агрофонов.

Намного меньше был смыв на посевах подсолнечника в 2010 году. При сплошном его размещении у подножия склона смыв почвы составил 9,7 т/га, что в 4,6 раза больше, чем при контурно-полосном размещении его с посевами озимой пшеницы. В последнем случае вся смываемая почва кольматировалась озимой пшеницей.

Таким образом, применяемая система почвозащитных мероприятий, представленная контурно-полосным размещением сельскохозяйственных культур и агрофонов в сочетании с системой стокорегулирующих лесных полос, обеспечила надежную защиту почв от эрозии, вызываемой как стоком талых вод, так и ливневыми осадками. В целом, если проанализировать интенсивность эрозионных процессов за весь период наблюдений, то ежегодный смыв на поле без применения почвозащитных мероприятий составляет 8–10 т/га. Это означает, что через 50 лет площади сильноэродированных почв увеличатся до 12 % (было 4 %), среднеэродированных – до 53 % (было 40 %), а площади слабоэродированных почв уменьшается до 35 %.

6 КОММЕНТАРИИ К «МЕТОДИЧЕСКИМ УКАЗАНИЯМ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОДНЫМ ОБЪЕКТАМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ» И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗГРАНИЧЕНИЮ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА УЩЕРБ

Учеными России и зарубежных стран установлено, что основная масса загрязняющих биогенных веществ поступает в водные объекты с поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного назначения. В отдельных случаях доля биогенных веществ, поступивших с земель сельскохозяйственного использования, достигает до 50 % и даже до 70 % от общей массы их поступления. Они наносят определенный ущерб водным объектам и ухудшают экологию природных систем.

Под ущербом поверхностным водным объектам (ПВО) от поверхностного стока принято понимать снижение в результате внешнего воздействия нормального (или заданного) уровня состояния водной системы или стандарта качества объекта, значимое с точки зрения устойчивости этой системы или ее потребительских качеств.

В основу исчисления ущерба от поверхностного стока положена концепция полной компенсации затрат на восстановление утраченного качества водного объекта. Расчет ущерба в настоящее время осуществляется в соответствии с методикой исчисления вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [112].

Ущерб оценивается в сопоставимых единицах, чтобы компенсировать ухудшение качества водных объектов. Методические указания дают возможность установить, какова именно величина негативных изменений в водной среде и установить возможные затраты на восстановление утраченного качества.

Анализ научных источников показал, что существуют нормативные акты, позволяющие определять ущерб, причиненный водному объекту от организованного и неорганизованного стока. Однако во всех без исключения нормативах учет поступления загрязняющих веществ в водные объекты производится на гидрохимических и гидрологических постах (створах) непосредственно в водном объекте. В то же время, поверхностный сток с земель сельскохозяйственного использования поступает с водосбора, на территории которого находится несколько хозяйствующих субъектов (землепользователей).

Существующие нормативные акты не позволяют на узаконенных правах определить долю ущерба и ответственность каждого землепользователя за загрязнение водного объекта вредными веществами, поэтому авторами предлагается методология исчисления ущерба от поступления загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты с поверхностным стоком по натурным исследованиям и косвенным показателям. Она позволяет установить виновных в загрязнении как непосредственно в водном объекте, так и на части водосбора, удаленного от водного объекта, как по натурным, так и по косвенным показателям факторов.

Методика исчисления ущерба изложена в Методических указаниях по определению ущерба, наносимого водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного назначения (далее – Методические указания) (глава 10). Методические указания разработаны в развитие Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [112], которая принята за основу.

Авторы в данной монографии предлагают сделать последовательный обзор положений разработанных Методических указаний.

6.1 Анализ и оценка положений проекта Методических указаний по определению ущерба от поверхностного стока по результатам исследований 1970–2015 годов

Расчет размера ущерба, причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе твердой и жидкой фазы поверхностного стока, производится по формуле (60) утвержденной Методики [112]:

$$Y = K_{\text{вг}} \cdot K_{\text{дл}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{ин}} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{из}} + Y_{\text{заил}}, \quad (60)$$

где $K_{\text{вг}}$ – коэффициент, который устанавливается с учетом природно-климатических условий в зависимости от времени года;

$K_{\text{дл}}$ – коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов);

$K_{\text{ин}}$ – коэффициент индексации, который учитывает инфляционную составляющую экономического развития;

H_i – таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты, тыс. руб./т;

M_i – масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества, определяется по каждому ингредиенту загрязнения, т;

$K_{\text{из}}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект, поступающий со стоком;

$Y_{\text{заил}}$ – ущерб от заиления рек, тыс. руб.

Представленные в формуле (60) показатели рассмотрены более подробно в п. 6.3.

В формулу (60) Методики [112] добавлен важный показатель, имеющий существенное значение при поверхностном стоке, – ущерб от заиления $Y_{\text{заил}}$. Он определяется по формуле (61):

$$Y_{\text{заил}} = W_{\text{тв. ст.}} \cdot Z_{\text{оч}}, \quad (61)$$

где $W_{\text{тв. ст.}}$ – объем твердого стока (методика определения приводится ниже), т/га;

$Z_{\text{оч}}$ – средние удельные затраты на очистку водных объектов от ила и мелкозема, тыс. руб.

Предлагаемые в данной монографии Методические указания имеют восемь разделов и два приложения с информационными и справочными материалами. Структура Методических указаний приведена на рисунке 169.

Методические указания предназначены для расчета размера ущерба, причиненного водным объектам в результате загрязнения их вредными веществами, поступившими с поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования, и разграничения ответственности в случае нанесения такого ущерба одним или несколькими землепользователями, находящимися на одном водосборе.



Рисунок 169 – Структура Методических указаний по определению ущерба, наносимого водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного назначения

6.2 Комментарии к выбору субъектов для исчисления ущерба

Факт загрязнения ПВО признается установленным, если он зафиксирован уполномоченным органом государственного контроля и надзора в области использования и охраны водных объектов, на постоянных или временных гидрохимических и гидрологических постах (створах) наблюдений в соответствии с действующими нормативными документами.

В случае установления факта загрязнения ПВО какими-либо вредными веществами (ВВ), поступившими с поверхностным стоком, определяется субъект – виновник загрязнения, для которого (которых) исчисляется ущерб ПВО от загрязнения.

Порядок установления виновника загрязнения заключается в последовательном ступенчатом выявлении случая поступления загрязняющих веществ (ЗВ) с территории хозяйствующего субъекта (с организованным, точечным стоком или поверхностным стоком с полей сельскохозяйственного использования), начиная от поста (или створа) наблюдений вверх по водотокам и водосбору: водохранилище (озеро, море) → река → овраги и балки → ложбины → сельхозугодия на водосборе или на части водосбора (хозяйствующий субъект, землепользователь).

Порядок определения виновника загрязнения зависит от вида ПВО – проточный или непроточный водный объект:

- если это непроточный водный объект (озеро, пруд), то виновника загрязнения определяют последовательным обследованием водотоков на береговой линии и установлением хозяйствующего субъекта, с территории которого поступают ЗВ;

- проточные водные объекты (реки) в большинстве случаев имеют большую протяженность, и в связи с этим могут иметь несколько гидрохимических и гидрологических створов (постов) наблюдений. Поэтому здесь необходимо различать место поступления ЗВ. Они могут поступить в ПВО выше первого створа или между двумя створами, расположенными на одном водотоке, но удаленными друг от друга.

При установлении факта поступления ЗВ выше первого створа или между двумя соседними створами проточного ПВО, на водосборе которого расположены сельскохозяйственные угодья одного землепользователя, то востребование исчисленного ущерба производится с этого землепользователя.

При поступлении загрязняющих веществ с водосбора, на территории которого располагаются сельхозугодья нескольких землепользователей, исчисление ущерба производится пропорционально доле нанесенного ущерба.

Установление факта поступления ЗВ и исчисление ущерба для каждого землепользователя производится двумя методами:

- по натурным исследованиям – путем устройства на границах землепользований в водных объектах (в водотоках постоянных или временных: балки, овраги, ложбины и пр.) дополнительных временных створов и пунктов учета поверхностного стока;

- по косвенным показателям, с учетом используемых землепользователями компенсационных природоохранных мероприятий, способствующих снижению поверхностного стока и поступления загрязняющих веществ в водотоки.

При возникновении спорных вопросов о поступлении массы ЗВ с конкретной территории землепользователя проводятся дополнительные исследования.

6.3 Комментарии к методологии определения ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком по натурным наблюдениям

Расчет ущерба от поверхностного стока авторами предлагается производить по видоизмененной формуле с добавлением новых коэффициентов и с уточнением существующих, конкретно для особенностей поверхностного стока. Поэтому исчисление размера ущерба, причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе твердой и жидкой фазы поверхностного стока, производится по видоизмененной формуле.

Формула (60) примет новый вид:

$$Y = K_{\text{вг}} \cdot K_{\text{дл}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{ин}} \cdot K_{\text{сэз}} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{из}} + Y_{\text{заил}} \cdot K_{\text{ин}}, \quad (62)$$

где $K_{\text{сэз}}$ – коэффициент социально-экономической значимости рассматриваемого объекта.

Для логического изложения материала разработанных Методических указаний предлагается последовательно обсудить все вопросы и полученные в ходе исследований данные, позволяющие по натурным инструментальным наблюдениям или по косвенным показателям определить ущерб, нанесенный водным объектам поверхностным стоком, начав с коэффициентов, приведенных в формулах (60) и (62).

6.3.1 Коэффициент, учитывающий природно-климатические условия

Коэффициент $K_{вг}$ устанавливается с учетом природно-климатических условий в зависимости от времени года. Для оценки $K_{вг}$ календарный год условно был разделен на четыре периода по степени возможного отрицательного влияния вредных веществ, попадающих со стоком в водные объекты, на водную биоту и возможность накопления их в донных отложениях.

Обзор литературных источников и обсуждение данного вопроса с учеными и специалистами показывают, что коэффициенты $K_{вг}$, приведенные в Методике исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [112], в большей степени применимы при точечных и организованных стоках загрязняющих веществ, например, со сточными водами урбанизированных территорий.

В отличие от организованных сбросов поверхностный сток носит кратковременный характер, например, период стока талых вод составляет от 10 до 40 часов на юге России и от 20 до 100 часов в северных широтах, а ливневый сток является кратковременным и длится считанные минуты или часы.

Биогенные вещества, попадающие в водные объекты с поверхностным стоком, менее опасны, чем вещества, попадающие в водные объекты с организованным сбросом, особенно некоторых промышленных предприятий, работающих без современных очистных сооружений. В связи с этим экспертная оценка позволила предположить, что $K_{вг}$ для поверхностного стока должен быть иной. Он с большой вероятностью составляет $K_{вг} = 1,0$ в первый период (декабрь – февраль) и четвертый период (сентябрь – ноябрь), а в более ответственный второй период (март, апрель и май, совпадает с периодом нереста и появления молоди рыб) $K_{вг}$ возрастает до 1,15, а в третий период (июнь, июль, август, совпадает с ростом молоди) $K_{вг}$ должен составлять 1,10. Эти данные не противоречат примечанию Методики [112], что при половодьях и паводках принимается коэффициент $K_{вг} = 1,05$, но авторами данной работы еще более ужесточаются требования к количеству и качеству поверхностного стока.

Причем исследования и данные литературных источников показывают, что с талыми водами в весенний период поступает с земель сельскохозяйственного назначения в основном одно загрязняющее вещество, превышающее ПДК_{р/х}, азот аммиачный.

6.3.2 Коэффициенты, учитывающие экологические факторы

Коэффициент $K_{в}$ учитывает экологические факторы: состояние водных объектов и возможные последствия от загрязнения ПВО. Коэффициенты оставлены без корректировки, определяются для каждого водного объекта.

Коэффициент $K_{дл}$ учитывает длительность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации.

Анализ литературных источников, нормативных актов показал, что они приемлемы для исчисления ущерба от поверхностного стока. Авторы согласны с показателями коэффициентов $K_{в}$ и $K_{дл}$, приведенными в Методике [112]. Они взяты без изменений.

6.3.3 Коэффициент индексации

Коэффициент индексации $K_{ин}$, учитывает инфляционную составляющую экономического развития. Принимается на уровне интегрального индекса-дефлятора по отношению к определенному году, который на соответствующий год определяется как произведение индексов-дефляторов по годам, устанавливаемых решением органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации по строке «инвестиции (капитальные вложения) за счет всех источников финансирования».

Коэффициент $K_{ин}$ принимается равным единице, если виновник загрязнения возместил ущерб в течение полугода, предпринял внедрение компенсационных мероприятий и случай загрязнения был впервые.

Предложение, широко практикуемое в зарубежных странах: разрешить иски на сумму ущерба за загрязнения ПВО использовать виновником загрязнения (землепользователем) полностью или частично на разработку и освоение компенсационных мероприятий непосредственно на своих сельхозугодиях, с которых наблюдался поверхностный сток и поступление ЗВ в водный объект. Это позволяет экономить бюджетные средства на компенсационные мероприятия и заинтересовать землепользователя в проведении природоохранных мероприятий на своих сельхозугодиях, чтобы избежать штрафных санкций за загрязнение ПВО в будущем.

Авторы считают необходимым в этом коэффициенте $K_{ин}$ или отдельным коэффициентом $K_{сз}$ учитывать социально-экономические значения и необходимость для страны объектов сельскохозяйственного или промышленного производства. Например, рисовые оросительные системы строятся в поймах рек на засоленных землях, где возделывание риса и сопутствующих культур возможно только при затоплении или промывном режиме орошения. Здесь наблюдается сброс дренажных вод с заранее худшим качеством, чем в водозаборе. В этом случае рисоводы должны возмещать ущерб за вред водным объектам. Но вместе с этим для страны необходимо производить отечественный рис, чтобы обеспечить продовольственную безопасность страны. В этом случае мы должны выбрать: то ли будем платить большие штрафы за ущерб и прекратим производство отечественного риса или значительно снизим штрафы, но будем иметь отечественный рис, т. е. нужен компромисс.

Авторами проведен анализ используемых технических средств на очистку водных объектов и стоимость очистки. Установлено, что в большинстве случаев используются экскаваторы и драглаины. Средние удельные затраты на очистку водных объектов от ила и мелкозема, например реки Темерник в г. Ростове-на-Дону в ценах 2014 году, составляли около 250 руб. за 1 м³ грунта. Этот показатель взят как поправочный коэффициент. В случае инфляции или удорожания механизмов и средств производства сумма затрат может возрасти. В этом случае применяют ранее приведенный коэффициент $K_{ин}$ для расчета затрат на очистку.

Более доказательно расчет стоимости очистки водных объектов от заиления производится по СНиПам при подготовке проекта очистки водоема с учетом всех затрат.

6.3.4 Коэффициент социально-экономической значимости объекта

Анализ сельскохозяйственного производства, социально-экономических отношений и деятельности отдельных землепользователей приводит к убеждению о необходимости введения в формулу (60) Методических указаний нового коэффи-

циента $K_{сэз}$ – коэффициента социально-экономической значимости объекта, расположенного на землях сельскохозяйственного использования.

Авторы считают, что $K_{сэз}$ должен согласовываться в МПР в каждом конкретном случае или такие полномочия могут быть переданы региональным отделениям и службам МПР на стадии подготовки проекта строительства объектов и при их эксплуатации для технико-экономического обоснования проекта реконструкции или строительства мелиоративных объектов.

6.3.5 Таксы для исчисления размера вреда от сброса загрязняющих веществ

H_i – таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты, взяты из Методики [112]. По вредным (загрязняющим) веществам нормативы ПДК_{р/х} определены в соответствующих нормативных документах словом «отсутствие». Таксы для исчисления размера вреда определяются на уровне вредного (загрязняющего) вещества, являющегося химическим аналогом и входящим в группу вредных (загрязняющих) веществ того же класса опасности.

Авторы не сочли возможным изменять таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты, так как они утверждены приказом МПР от 13 апреля 2009 г. № 87 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» [112]. На наш взгляд, таксы необходимо пересмотреть, так как они разрабатывались в 90-х годах, и при индексации для современных условий таксы автоматически возросли в десятки раз.

6.3.6 Коэффициент интенсивности негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект

Коэффициент интенсивности негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект $K_{из}$ устанавливается в зависимости от превышения фактической концентрации вредного (загрязняющего) вещества, поступающего со стоком над установленной ПДК_{р/х} для него (п. 11.1 Методики [112]).

В Методике [112] не учитывается природное фоновое загрязнение ПВО. Исчисление ущерба начинается при содержании в поверхностном стоке i -го ЗВ, превышающего ПДК_{р/х}, а как быть, если фоновое загрязнение уже выше этого ПДК_{р/х}, тогда землепользователю придется платить и за фоновое загрязнение, что не является верным, и это может быть опротестовано в суде.

6.3.7 Комментарии по расчету ущерба от заиления водных объектов

Авторы считают необходимым в формулу (61) Методики [112] добавить еще один важный показатель, имеющий существенное значение при поверхностном стоке, ущерб ПВО от заиления. Он определяется по формуле:

$$Y_{заил} = W_{тв. ст.} \cdot Z_{оч} \cdot K_{ин}, \quad (63)$$

где $K_{ин}$ – коэффициент индексации.

Объем твердого стока $W_{тв. ст.}$ определяется по формулам (64) и (65):

- в водотоках при возможности учета объема стока в ПВО и коэффициента мутности стока:

$$W_{\text{тв.ст.}} = O_{\text{ст.}} \cdot K_{\text{мутн.}} \cdot 10^{-6} / a, \quad (64)$$

где $O_{\text{ст.}}$ – объем поступившего в ПВО поверхностного стока, м³;

$K_{\text{мутн.}}$ – показатель мутности стока, мг/дм³;

10^{-6} – коэффициент перевода мг/дм³ в т/м³;

a – объемная масса ила, т/м³;

- в непроточных водоемах по фактически поступившему объему ила и мелкозема в ПВО за определенный период. Определяется натурными наблюдениями и рассчитывается как разность объема воды в ПВО в начале и в конце периода отсчета при нормальном подпорном уровне (НПУ) воды в ПВО, т. е. при одном и том же расчетном уровне зеркала воды в начале и конце периода отсчета:

$$W_{\text{тв.ст.}} = W_{\text{пво.нач.}} - W_{\text{пво.кон.}}, \quad (65)$$

где $W_{\text{пво.кон.}}$ – объем воды в ПВО в конце периода отсчета, м³;

$W_{\text{пво.нач.}}$ – объем воды в ПВО в начале периода отсчета, м³.

Масса твердого стока определяется при необходимости перевозки ила, например автотранспортом, где оплата производится за т/км:

$$M_{\text{тв.ст.}} = W_{\text{тв.ст.}} \cdot a, \quad (66)$$

где $M_{\text{тв.ст.}}$ – масса твердого стока, т/км.

При подготовке проекта очистки водного объекта расчет затрат на очистку от заиления рекомендуется проводить по существующим СНиП с учетом всех затрат. При инфляции или удорожании механизмов и средств производства сумма затрат может возрасти. В этом случае применяют ранее приведенный коэффициент индексации $K_{\text{ин}}$ для расчета затрат на очистку ПВО.

6.3.8 Комментарии к определению массы сброшенного вредного вещества

Из приведенных в формуле (60) Методики [112] показателей остался самый важный и трудно определяемый – масса сброшенного загрязняющего вещества M_i в водные объекты. При этом M_i масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества определяется по каждому ингредиенту загрязнения.

Определение массы сброшенного вещества является ключевым в расчетах ущерба водным объектам от поверхностного стока с земель сельскохозяйственного значения. Все существующие до настоящего времени Методические указания по определению загрязнения водных объектов и исчисления ущерба основаны на первичном определении поступления загрязняющих веществ уже в водном объекте (реке, водоеме) на существующих гидрохимических и гидрологических постах и створах. Однако при этом не учитывается, что на водосборе даже малых рек располагается несколько землепользователей, и определить, кто из них и какой размер вреда нанес, не представляется возможным. Например, фиксация факта загрязнения ПВО происходит после завершения ливней, т. е. уже свершившегося факта поверхностного стока и поступления ЗВ. Существующие методики не позволяют разграничить ответственность отдельно взятого землепользователя. Поэтому основная работа авторов была направлена на определение размеров поверхностного стока, массы ЗВ и ущерба от него для отдельно взятого землепользователя.

Согласно Методике [112], исчисление ущерба от поступления в водные объекты должны производить при поступлении в ПВО поверхностного стока с превышением предельно допустимых концентраций вредных веществ в зависимости

от вида водопользования. В качестве норматива принято качество воды для рыбохозяйственного водопользования (ПДК_{р/х}).

Однако в данной Методике [112] не учитывается фоновое загрязнение ПВО. Но в большинстве случаев, особенно в засушливой и сухой зоне России, фоновое качество воды в ПВО зачастую уже превышает ПДК_{р/х} по некоторым ЗВ. Поэтому до предъявления штрафных санкций за поступление ЗВ в ПВО необходимо знать фоновые показатели качества воды в водном объекте. В дальнейшем примем условно, что во всех случаях фоновое загрязнение не превышает ПДК_{р/х} для упрощения пояснений и комментариев к Методическим указаниям.

Поступление поверхностного стока с содержанием i -го вредного вещества, превышающего ПДК_{р/х} в жидком или твердом стоке, является основанием для исчисления ущерба.

Расчет массы загрязняющих веществ M_i , поступивших в ПВО с поверхностным стоком, и разграничение ответственности землепользователей за ущерб должны производиться на основе натуральных наблюдений (инструментальные измерения, отбор проб, лабораторный анализ проб и пр.).

Вместе с тем необходимо учитывать, что на гидрохимических постах и створах производится учет качества воды жидкой фазы поверхностного стока. В то же время сток с земель сельскохозяйственного значения состоит из жидкой и твердой фаз.

Жидкая фаза стока содержит ЗВ, растворенные в воде в определенной концентрации, а твердая фаза характеризуется мутностью стока и количеством веществ (ил, мелкозем и пр.), находящихся во взвешенном состоянии и переносимых с полей в овраги, балки, ложбины и пр.

Массу поступивших загрязняющих веществ с водой, илом и мелкоземом определяют в первую очередь в водных объектах: реках, проточных озерах и водохранилищах и непроточных прудах и озерах.

Для разграничения ответственности за ущерб нескольких землепользователей, находящихся на одном водосборе, необходимо дополнительно создавать временные посты наблюдений также во временных водотоках (суходольные балки, овраги, ложбины, дренажно-сбросные коллектора периодического заполнения и пр.), являющихся базисом эрозии для конкретного участка водосбора.

При этом весь водосбор можно разделить на ряд более мелких частей с характерными признаками – реки большие, реки малые, озера проточные и непроточные (пруды), дренажно-сбросные коллекторы с осушаемых и орошаемых земель на этом водосборе и суходольные временные водотоки.

Наиболее достоверные данные сброса ЗВ в ПВО дают натурные исследования гидрологических и гидрохимических лабораторий. Однако они производят учеты только в водотоках или непосредственно в водных объектах, поэтому установить виновника загрязнения по натурным исследованиям становится невозможным при наличии на водосборе нескольких землепользователей.

На наш взгляд, в Методике [112] изложена достаточно полно методология исчисления ущерба от загрязнения ПВО по укрупненным показателям и коэффициентам, однако там нет описания метода разграничения ответственности землепользователей, находящихся на одном водосборе выше поста гидрологических и гидрохимических наблюдений.

6.3.9 Методы определения массы загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком

Анализ возможности расчета массы поступивших вредных (загрязняющих) веществ M_{nc} в ПВО с водосбора показывает, что ее можно рассчитать для трех случаев.

Первый. Авторам представляется возможным делать прогноз поступления ЗВ по укрупненным показателям при технико-экономическом и экологическом обосновании проектных работ крупных водохранилищ и их состояния в перспективе, в т. ч. степени эвтрофирования водоемов.

Второй. Авторы могут произвести расчеты поступления ЗВ по натурным наблюдениям, что и должно делаться на большинстве водосборов.

Третий. Авторы могут произвести расчеты поступления ЗВ с водосбора по косвенным показателям.

Остановимся подробнее на этих трех случаях.

Прогноз поступления ЗВ.

Прогноз поступления с крупных водосборов массы ЗВ с поверхностным стоком талых и дождевых вод используется для экологического обоснования возможного изменения процессов эвтрофирования водоемов от поступления биогенных веществ, необходимый при разработке и экспертизе проектов строительства крупных водохранилищ, водоемов, а также прогноза поступления биогенных ЗВ в ПВО по укрупненным показателям в связи с увеличением объемов внесения минеральных и органических удобрений на землях сельскохозяйственного использования, производится по методологии п. 26 Методики [112].

Масса вредных (загрязняющих) веществ M_{nc} от несанкционированных сбросов ЗВ, бытовых и других отходов (удобрения, ядохимикаты, навоз и пр.), попавших в водный объект с неорганизованным стоком с водосборной площади или территории отдельного хозяйствующего субъекта на водосборной площади, определяется по формуле:

$$M_{\text{nc}} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot S \cdot (C_i \cdot O_{\text{д}} + C_i \cdot O_{\text{т}}) \quad (67)$$

где M_{nc} – масса сброса вредных (загрязняющих) веществ, т;

10^{-6} – коэффициент перевода мг/дм³ в т/м³;

S – площадь территории (водосбора) хозяйствующего субъекта, га;

$C_{\text{д}}, C_{\text{т}}$ – концентрации i -го ЗВ соответственно в дождевых и талых водах, мг/дм³;

$O_{\text{д}}, O_{\text{т}}$ – объемы стока соответственно дождевых и талых вод за время t сброса ЗВ, м³/га.

Общая площадь S территории (водосбора) хозяйствующего субъекта, на которой формируется загрязненный поверхностный сток, определяется по данным генерального плана землеустройства и (или) данным государственной статистической отчетности об использовании земель.

Эта формула верна только для проточных водных объектов, где учитывается расход воды и время сброса и по ним определяется объем стока талых и дождевых вод.

Но в то же время в непроточных ПВО по этой формуле невозможно определить массу поступивших веществ в связи с тем, что гидрологические и гидрохими-

ческие посты (створы) учитывают здесь не расход воды, а уровень воды в ПВО. В данном случае массу поступивших ЗВ необходимо определять по изменению объема ПВО и концентрации ЗВ в воде до и после стока. Поэтому по натурным наблюдениям в непроточных ПВО массу ЗВ, поступивших в ПВО с поверхностным стоком, определяют по формуле:

$$M_{\text{нс.непр}i} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot (W_{\text{кон}} \cdot C_{ki} - W_{\text{нач}} \cdot C_{ni}), \quad (68)$$

где $M_{\text{нс.непр}i}$ – масса поступивших ЗВ в непроточные ПВО, т;

$W_{\text{кон}}$ – объем воды в ПВО в конце периода отсчета поступления ЗВ с поверхностным стоком дождевых или талых вод, м³;

C_{ki}, C_{ni} – концентрация i -го ЗВ в непроточном ПВО, превышающего ПДК_{р/х}, соответственно до и после поступления поверхностного стока, мг/дм³;

$W_{\text{нач}}$ – объем воды в ПВО в начале периода отсчета поступления ЗВ с поверхностным стоком дождевых или талых вод, м³.

В формулах (67) и (68) мы можем установить объем поступившего стока и массу загрязняющих веществ со всего водосбора, поэтому объем O_d и O_t лучше определять не с единицы площади – м³/га, а просто весь объем стока, т. е. в м³, так как если исчислять в м³/га, то мы должны заранее знать площадь водосбора или его часть, с которого поступил сток. Из формул (67) и (68) значение S – площадь территории (водосбора) – можно удалить, тогда мы рассчитывает поступление общей массы ЗВ $M_{\text{нс}}$ в тоннах со всего водосбора.

В связи с этим считаем целесообразным O_d и O_t исчислять в м³, а при необходимости определения массы $M_{\text{нс}}$ поступивших в ПВО на единицу площади видоизменить формулы (67) и (68) и выразить их как:

$$M_{\text{нс.пр}} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot (C_i \cdot O_d + C_i \cdot O_t) / S, \quad (69)$$

$$M_{\text{нс.непр}} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot (W_{\text{кон}} \cdot C_{ki} - W_{\text{нач}} \cdot C_{ni}) / S. \quad (70)$$

В этом случае $M_{\text{нс.пр}}$ и $M_{\text{нс.непр}}$ будут определяться на единицу площади, т. е. в т/га, которые потребуются при разграничении ответственности нескольких землепользователей, расположенных на одном водосборе по формуле:

$$M_{\text{нс.}3i} = S_n \cdot M_{\text{нс}}. \quad (71)$$

6.3.10 Расчет массы загрязняющих веществ по натурным показателям для различных видов поверхностных водных объектов на одном водосборе

По натурным исследованиям поступление $M_{\text{нс}}$ ЗВ (в тоннах) в ПВО должно определяться путем измерения расхода воды в фиксированном русле водного объекта за определенное время, т. е. необходимо определить объем O_d или O_t по формуле:

$$M_{\text{нс}} = C_i \cdot O_d \cdot 10^{-6}. \quad (72)$$

При расчетах массы ЗВ, поступивших с крупного водосбора, необходимо учитывать, что там могут быть разные виды ПВО, могут присутствовать мелиорированные земли (орошение или осушение с организованным сбросом), а также возникает необходимость определять поступление поверхностного стока не только

в постоянных водотоках и водоемах, но и во временных водотоках (балках или оврагах), так как на крупном водосборе может быть множество землепользователей, границы территорий которых проходят по суходольным водотокам. В этом случае придется дополнительно проводить учеты стока в суходольных водотоках путем устройства дополнительных временных пунктов учета стока и проводить учеты мобильными группами.

Массу поступивших загрязняющих веществ в водные объекты, находящиеся на одном крупном водосборе, можно определять по формуле:

$$M_i = \sum (M_{оз\ i} + M_{рек\ i} + M_{овр\ i} + M_{мел\ i}), \quad (73)$$

где M_i – масса i -го ЗВ, поступившего в водные объекты (реки, озера, пруды и прочие водные объекты), находящиеся на одном крупном водосборе, т;

$M_{оз\ i}$ – масса i -го ЗВ, поступившего в непроточное озеро (пруд), определяется по формуле (68) или на 1 га по формуле (70), т;

$M_{рек\ i}$ – масса i -го ЗВ, поступившего в реки, проточные озера и водохранилища, определяется по формуле (67), т;

$M_{овр\ i}$ – масса i -го ЗВ, поступившего в водные объекты из временных водотоков (овраг, балок, ложбин). Учитываются данные по землепользователям. Если такие учеты проводились, определяется по формуле (67) или, если на 1 га, по формуле (69), т;

$M_{мел\ i}$ – масса вредных веществ, поступивших с мелиорированных земель. Учитываются данные по землепользователям, если имеются мелиорированные земли и такие учеты проводились, определяется по формулам (67) и (69), т.

Может показаться, что $M_{овр\ i}$ не имеет отношения к водным объектам, однако необходимо учесть, что поверхностный сток в большинстве случаев не попадает сразу в водные объекты. Поверхностный сток вначале стекает с участка водосбора в естественные понижения, временные водотоки (балки, овраги, ложбины и пр.), где оседает большая часть твердого стока, а жидкий сток с частью твердого стока в виде взвешенных частиц поступает далее в водные объекты. Однако объем поступающего твердого стока является прямым показателем благополучия данного водосбора, т. е. характеризует наличие или отсутствие природоохранных мероприятий, способствующих снижению стока и водной эрозии.

Массу поступивших ЗВ с жидким и твердыми фазами стока в водотоки определяют по формуле:

$$M_i = \sum (M_{жст\ i} + M_{твст\ i}). \quad (74)$$

где $M_{жст\ i}$ – масса вредного i -го вещества, поступившего с жидким стоком во временные водотоки (реку, озеро, ложбину, овраг, балку или с мелиорированных земель), т.

Масса вредных веществ в жидком стоке определяется по формуле:

$$M_{жст\ i} = Q \cdot C_i \cdot 10^{-6} T \cdot 8,64 \cdot 10^4, \quad (75)$$

где Q – расход воды (общий сток, жидкой и твердой фазы) на временном створе, м³/с;

C_i – концентрация i -го вещества в воде, превышающего ПДК_{р/х}, мг/дм³;

T – время, период стока, сут;

10^{-6} – коэффициент перевода массы ЗВ из мг/дм³ в т/м³;

$8,64 \cdot 10^4$ – коэффициент перевода секунд в сутки;

$M_{\text{тв.ст.}i}$ – масса вредных веществ, поступивших с сельхозугодий с твердым стоком, т.

Масса вредных веществ, поступивших с сельхозугодий с твердым стоком (мелкозем, ил, грунт и пр.) в овраги (реки, озера и пр.) за пределы учитываемого водосбора, определяется путем выделения твердой части стока $W_{\text{гр.}}$ из общего стока и определения содержания i -го ЗВ в твердом стоке по формуле:

$$M_{\text{тв.ст.}i} = W_{\text{гр.}} \cdot \alpha \cdot C_{\text{тв.ст.}i} \cdot 10^{-6}, \quad (76)$$

где $W_{\text{гр.}}$ – объем твердого стока (грунт, ил и пр.), поступившего за пределы учитываемого водосбора (в реку, створ на балке, овраге и пр.), м³;

α – объемная масса твердого стока (грунта, ила), т/м³;

$C_{\text{тв.ст.}i}$ – содержание i -го ЗВ в твердом стоке, мг/кг;

10^{-6} – коэффициент перевода массы ЗВ из мг/кг в т/м³.

Концентрацию поступивших загрязняющих веществ с жидким стоком определяют в гидрохимических лабораториях в отобранных образцах воды и рассчитывают массу ЗВ.

Твердый сток можно определить при учете общего поверхностного стока $O_{\text{т}}$ или $O_{\text{д}}$ и отдельно жидкой фазы стока, тогда объем твердого стока определяют по формуле:

$$W_{\text{тв.ст}} = W_{\text{ст}} - W_{\text{жидк.ст}}, \quad (77)$$

где $W_{\text{тв.ст}}$ – объем твердого стока, м³;

$W_{\text{ст}}$ – объем поверхностного стока, поступившего в ПВО или водотоки, м³;

$W_{\text{жидк.ст}}$ – объем жидкого стока, м³.

Коэффициент твердого стока $K_{\text{тв.ст}}$ определяется как отношение доли объема твердого стока к общему объему стока по формуле:

$$K_{\text{тв.ст}} = W_{\text{тв.ст}} / W_{\text{ст}}. \quad (78)$$

Объем твердого стока $W_{\text{тв.ст}}$ и коэффициент твердого стока $K_{\text{тв.ст}}$ определяются по натурным наблюдениям или по справочным таблицам для различных регионов, с учетом типа почвы и прочих.

В связи с тем, что большая часть сельхозугодий находится на водосборах непосредственно вблизи временных водотоков, и на таких водосборах находятся поля выращиваемых сельскохозяйственных культур нескольких землепользователей, то очевидно, что наибольший объем работы по определению виновника загрязнения будет проводиться именно на таких водосборах и на водосборах малых рек [225–228]. В этом случае, возможно, потребуется учет поверхностного стока и смыва почвы с сельхозугодий. Хотя показатели объема смыва почвы больше потребуются для служб надзора за использованием земельных ресурсов.

Разработанные Методические указания предназначены для определения массы поступивших ЗВ в проточные и непроточные ПВО при превышении ими в поверхностном стоке допустимой концентрации ПДК_{п/х}.

При этом необходимо придерживаться следующих правил.

Поступление ЗВ в пруды и непроточные озера (водоем) определяется, как отмечалось ранее, по разнице объема воды до наступления случая загрязнения, и после загрязнения и изменения концентрации ЗВ:

$$M_{\text{ози}} = (W_{\text{озкон}} \cdot C_{\text{озкон}i} - W_{\text{означ}} \cdot C_{\text{означ}i}) \cdot 10^{-6}, \quad (79)$$

где $M_{озi}$ – поступление i -го ЗВ в пруды и непроточные озера, т;

$W_{озкон}$ и $W_{означ}$ – конечный и начальный объем воды в пруду или озере, м³;

$C_{озконi}$ и $C_{означi}$ – конечная и начальная концентрация i -го вещества до и после поступления загрязняющих веществ со стоком, мг/дм³;

10^{-6} – коэффициент перевода мг/дм³ в т/м³.

Поступление массы ЗВ в водотоки (реки, ручьи и пр.) $M_{рекi}$, превышающие ПДК_{р/х} между двумя соседними стационарными или временными створами (постами), расположенными на одном водотоке, или поступление ЗВ выше первого створа (поста), или замыкающего створа на малых водотоках определяют по усредненной фактической концентрации ЗВ $C_{рекi}$ в нижнем створе и среднему фактическому расходу воды $Q_{рек}$ в водотоке за время T :

$$M_{рекi} = Q_{рек} \cdot C_{рекi} \cdot 10^{-6} \cdot T \cdot 8,64 \cdot 10^4, \quad (80)$$

где $M_{рекi}$ – масса вредного i -го вещества, поступившего в реку, т;

$Q_{рек}$ – расход реки на нижнем створе, м³/сек;

$C_{рекi}$ – концентрация i -го вещества, превышающего ПДК_{р/х} на нижнем створе, мг/дм³;

10^{-6} – коэффициент перевода массы ЗВ из мг/дм³ в т/м³;

T – время, в течение которого производилось загрязнение, сут;

$8,64 \cdot 10^4$ – коэффициент перевода секунд в сутки.

Поступление ЗВ с поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования (с талыми, ирригационными, дренажными водами или ливнями) в суходольные балки (овраги, ложбины и пр.) определяется в случае необходимости установления виновника загрязнения между двумя створами на водотоках (балка, овраг, ложбина и пр.). Для этого уполномоченными мобильными группами устанавливаются временные створы (посты) наблюдений на период таяния снега или при ожидании ливневых осадков, а также при учете организованного сброса дренажно-сбросных вод с мелиорированных земель.

Масса i -го ЗВ определяется по сумме жидкого $M_{овр.жст.i}$ и твердого стока $M_{овр.тв.ст.i}$, поступившего за пределы учитываемого водосбора, по формулам (74)–(76).

Объем ила и мелкозема $W_{гр.}$, поступившего с полей (водосбора) ила (мелкозема и пр.) с поверхностным стоком из балок (оврагов, ложбин и пр.) в водные объекты, определяют путем выделения твердого стока из общего стока по формуле (81):

$$W_{гр.} = (Q_{общ.ст.} - Q_{жидкст.}) \cdot 10 \cdot \alpha \cdot S \quad (81)$$

где $W_{гр.}$ – объем ила и мелкозема, поступившего с полей с поверхностным стоком в водные объекты, т/га;

$Q_{общ.ст.}$ – общий сток, мм;

$Q_{жидкст.}$ – жидкий сток, мм;

10 – коэффициент перевода стока из мм в м³/га;

α – объемная масса твердого стока (грунта, ила), т/м³;

S – площадь поля (водосбора), га.

Допускается определение массы смыва почвы с отдельных участков инструментальными измерениями объема смывтой почвы в ПВО или в суходольные овраги, осевшего и оставшегося на дне.

6.3.11 Точечные загрязнители

На водосборах среди земель сельскохозяйственного назначения часто встречаются участки, отведенные под производственные объекты: терриконы, золоотвалы, механизированные колонны, газонаполнительные и автозаправочные станции, строительные фирмы и их склады, фермы, тока и прочие, которые приносят в поверхностный сток дополнительные ЗВ, несвойственные сельхозугодиям. Такие объекты принято называть точечными загрязнителями (далее $T_{\text{очЗВ}}$).

На сегодняшний день нет утвержденной методики исчисления ущерба водным объектам от точечных загрязнителей, находящихся на землях сельскохозяйственного назначения, поэтому нами может быть предложена только общая методология определения массы поступающих ЗВ в ПВО совместно с поверхностным стоком или отдельно.

Концепция определения стока и исчисления ущерба состоит в следующем. Вокруг $T_{\text{очЗВ}}$ образуют земляной вал высотой, достаточной для перехвата и учета стока талой и дождевой воды, а также бытовых сбросов воды на территорию водосбора (неорганизованный и при отсутствии очистных сооружений). В земляном вале в пониженных местах (их может быть несколько на одном объекте) устанавливают временный створ с водосливом или другим водоизмерительным прибором. По результатам учета объема стока и средней концентрации вредных веществ определяют массу привнесенных вредных веществ с объекта в ПВО или в поверхностный сток и затем в ПВО.

6.3.12 Комментарии к методике расчета массы поступления загрязняющих веществ в водные объекты по косвенным показателям

В связи с тем, что поверхностный сток происходит с огромных территорий, используемых для нужд сельскохозяйственного производства, определение виновников загрязнения ПВО, а их может быть сразу тысячи, по натурным наблюдениям практически невозможно. Поэтому величину поверхностного стока с конкретной части водосбора рекомендуется определять расчетными методами по косвенным показателям, влияющим на величину стока, и данным о содержании биогенных веществ в почве.

В предлагаемом проекте методики определения ущерба по косвенным показателям масса загрязняющих веществ, попавших в водный объект с поверхностным стоком, определяется расчетными (косвенными) методами так же, как и по натурным исследованиям:

$$M_{\text{общ.ст.}i} = M_{\text{жидк.ст.}i} + M_{\text{тв.ст.}i}, \quad (82)$$

где $M_{\text{общ.ст.}i}$ – общая масса загрязняющих веществ, поступивших в ПВО с поверхностным стоком, т/га;

$M_{\text{жидк.ст.}i}$ и $M_{\text{тв.ст.}i}$ – масса i -го загрязняющего вещества, поступившего с поверхностным стоком, соответственно с жидкой и твердой фазами, т.

При необходимости определения $M_{\text{общ.ст.}i}$, поступившей с части водосбора (наличие нескольких землепользователей), и разграничения ответственности землепользователей, поступление ЗВ определяют с площади сельхозугодий землепользователя на водосборе (т):

$$M_{\text{общ.ст.}i} = (M_{\text{жидк.ст.}i} + M_{\text{тв.ст.}i}) / S, \quad (83)$$

где S – площадь сельскохозяйственного водосбора или части водосбора землепользователя, га.

Масса i -го ЗВ в жидком стоке, поступившего с водосбора, на котором располагается один землепользователь, определяется в тоннах:

$$M_{\text{жидк.ст.}i} = C_{gi} \cdot Q_g \cdot 10^{-6}, \quad (84)$$

где C_{gi} – концентрация i -го загрязняющего вещества в жидком стоке, поступившего с части водосбора (сельхозугодия одного землепользователя), мг/дм³;

Q_g – объем жидкого стока, поступившего с части водосбора, в мм или м³/га;

10^{-6} – коэффициент пересчета массы загрязняющих веществ в жидком стоке из мг/дм³ в т/м³.

Масса i -го ЗВ в жидком стоке, поступившего с водосбора, на котором располагаются сельхозугодия нескольких землепользователей, определяется на единицу площади водосбора по формуле:

$$M_{\text{жидк.ст.}i} = (C_{gi} \cdot Q_g / S_g + C_{ti} \cdot Q_t / S_t + C_{\text{мел}} \cdot Q_{\text{мел}} / S_{\text{мел}}) \cdot 10^{-6}, \quad (85)$$

где $M_{\text{жидк.ст.}i}$ – масса i -го ЗВ в жидком стоке, т/га;

C_{gi} , C_{ti} , $C_{\text{мел}}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в стоке дождевых (ливневых), талых и ирригационных водах, поступивших с части водосбора (сельхозугодия одного землепользователя), мг/дм³;

Q_g , Q_t , $Q_{\text{мел}}$ – объем стока дождевых (ливневых), талых или ирригационных вод, поступивших с части водосбора, в мм или м³/га, (1 мм стока при пересчете на 1 га равен 10 м³/га);

S_g , S_t , $S_{\text{мел}}$ – соответственно, площадь сельхозугодий землепользователей, га;

10^{-6} – коэффициент пересчета массы загрязняющих веществ в жидком стоке из мг/дм³ в т/м³.

Объем стока дождевых вод

Объем стока дождевых (ливневых) вод с водосбора (или части водосбора S_g , S_t , $S_{\text{мел}}$) по косвенным показателям предлагается определять по Методике [112] согласно п. 26.2 по формуле (15).

В качестве комментария к п. 26.2 Методики [112] предлагаем обсудить точность расчетов и вероятность ошибок в расчетах при определении объема стока по усредненным показателям, приведенным в данном пункте.

Необходимо отметить, что данная формула позволяет определять поступление ЗВ по усредненным показателям с большого водосбора, например для административного района субъекта РФ. В то же время расчеты будут иметь большую погрешность, если мы будем использовать усредненные коэффициенты для конкретного участка водосбора (землепользователя).

Так, усредненный коэффициент «2,5» не может учитывать зональные особенности огромной территории России, влияющие на величину стока. В связи с этим авторами проведено обобщение данных, имеющихся в научной литературе, и полученных данных в результате исследований в 2007–2015 гг. и предлагается включить в эту формулу новый коэффициент $K_{\text{зон}}$ – коэффициент зональности вместо усредненного коэффициента «2,5». Он позволяет определить расчетными методами объем стока для территории России, сгруппированной по зонам с учетом основных факторов, влияющих на поверхностный сток и процессы эрозии почвы.

На величину $K_{\text{зон}}$ влияет комплекс природных показателей. Наиболее суще-

ственными из них являются тип почвы с ее водно-физическими свойствами, уклоны поверхности почвы, растительность, агрофон и пр. Оценка различных вариантов районирования территории России по этим показателям позволила определить, что показатели $K_{зон}$ должны изменяться от 1,05 до 1,45 по зонам России. Зоны можно принять те же, что и в приложении Методики [112].

Показатель H_d – слой осадков за теплый период для расчета размеров поверхностного стока и поступления ЗВ в ПВО, может быть использован для определения усредненного стока за теплый период года, т. е. для определения укрупненных показателей. В то же время, когда мы говорим о необходимости исчисления ущерба от поступления ЗВ с поверхностным стоком, большей частью мы имеем в виду, что это разовое поступление ЗВ в ПВО в конкретном случае. То есть это единственный случай, например, совпадает с периодом выпадения эрозионно опасного количества дождевых осадков.

Для примера. С вероятностью 10%-й обеспеченности, в Ростовской области (метеостанция, г. Зерноград, ряд за 49 лет) наблюдается в среднем за год 3–4 случая выпадения эрозионно опасного количества ливневых осадков в 20 мм и более, вызывающие поверхностный сток.

При исчислении ущерба от поступления ЗВ в ПВО с поверхностным стоком необходимо проводить расчеты для конкретных величин: периода времени (возможно, это часы или сутки), количества осадков, площади водосбора и конкретного поступления массы i -го ЗВ с поверхностным стоком в каждом конкретном случае. Поэтому показатель H_d необходимо принимать не для теплого периода года, а для конкретного случая.

Слой осадков определяется по данным ближайшей метеостанции. Но при удалении метеостанции более 5 км от участка водосбора возможны большие погрешности определения величины слоя осадков из-за удаленности участка и изменения слоя осадков. Особенно это актуально в летние месяцы, когда осадки выпадают не общим фронтом, а из грозовых туч на отдельные участки водосбора. При этом достоверность данных, полученных на метеостанции, в большинстве случаев будет недостаточной, и с удалением от нее будут резко увеличиваться ошибки. В этом случае можно определить слой осадков для конкретного участка по разности показателей влажности почвы до и после ливневых осадков по формуле:

$$P=100 \cdot H \cdot \alpha \cdot (W_{кон} - W_{нач}), \quad (86)$$

где P – слой осадков, мм;

100 – коэффициент перевода;

H – слой промачивания, м;

α – объемная масса (плотность естественного сложения) слоя промачивания, т/м³;

$W_{кон}$, $W_{нач}$ – влажность почвы конечная (после дождя) и начальная (до дождя), определяется для глубины слоя промачивания почвы, в % от массы абсолютно сухой почвы.

При отсутствии данных рассчитать начальную влажность почвы можно для различных видов культур с использованием биоклиматических коэффициентов водопотребления или по величине испарения на водобалансовых участках.

Но необходимо отметить, что приведенные коэффициенты стока K_q являются обобщенными показателями. Это не прямые показатели, а относительные удельные величины для определенных больших зон, которые для конкретных участков водосбора могут дать большие погрешности.

Для получения более достоверных данных необходимо для конкретной местности иметь показатели по количеству и интенсивности осадков за длительный период времени (30–40 лет). По этим данным строят ряды обеспеченности осадками определенной величины, интенсивности и продолжительности, и только после этого можно рассчитать достоверное значение коэффициента K_q . Это дополнительная огромная работа, а без таких данных рассчитанные коэффициенты K_q могут быть опротестованы виновниками загрязнения.

По нашему мнению, формула (15) определения объема стока дождевых вод, приведенная в п. 26.2 Методики [112], может быть верна, как отмечалось выше, для прогноза величины стока или для расчета стока с больших водосборов. Но если эту формулу применять для расчета стока и исчисления ущерба с какой-то конкретной части водосбора, то она будет иметь большие погрешности и, в связи с этим, может быть справедливо опротестована землепользователями в судебных органах.

В формуле (15) п. 26.2 Методики [112] для расчетов используется коэффициент $K_{вн}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность формирования дождевого стока с учетом удельного веса (в процентах) водонепроницаемых поверхностей ($P_{вн}$) на площади территории (водосбора) хозяйствующего субъекта.

Для расчета поверхностного стока с земель сельскохозяйственного использования коэффициент всегда будет значительно меньше, так как доля твердых покрытий на территории этих земель очень мала. Удельный вес (в процентах) водонепроницаемых поверхностей $P_{вн}$ (асфальтированные дороги, токи, хранилища, механические мастерские и пр.) на площади территории хозяйствующего субъекта (части водосбора) составляет менее 1 %, поэтому этот коэффициент можно использовать при расчетах укрупненных показателей дождевого стока с отдельных селитебных территорий, расположенных на землях землепользователя, но для земель сельскохозяйственного использования, расположенных на конкретном участке водосбора, он может давать большие погрешности.

Объем стока талых вод

В Методике [112] объем стока талых вод определяется по формуле в п. 26.2:

$$Q_T = H_T \cdot K_T \cdot K_B \cdot K_I, \quad (87)$$

где Q_T – объем стока талых вод с водосбора (участка), м³/га;

H_T – слой осадков за холодный период (ноябрь – март) со средними температурами ниже 0 °С, определяется по данным метеорологических наблюдений, мм;

K_T – коэффициент, учитывающий объем стока талых вод в зависимости от условий снеготаяния, определяется для которой зоны по условиям весеннего стока талых вод:

K_B – коэффициент, учитывающий вывоз снега с территории (водосбора) хозяйствующего субъекта (при отсутствии вывоза снега $K_B = 10$ и его значение уменьшается при вывозе снега пропорционально объему вывоза), для сельхозугодий принимается равным 1,0;

K_I – коэффициент, учитывающий принимаемое к расчету размера вреда время сброса вредных (загрязняющих) веществ по отношению к продолжительности периода стока талых вод по зонам.

В качестве комментария к п. 26.3 Методики по определению объема стока талых вод и предложений к разработанным методическим указаниям можно отметить, что слой осадков H_T за холодный период (ноябрь – март) со средними темпе-

ратурами ниже 0 °С определяется по данным метеорологических наблюдений ближайшей метеостанции. Этот показатель может изменяться в зависимости от экспозиции склона водосбора, наличия ветроударных воздушных коридоров, возделываемых культур и состояния почвы (уплотненная или рыхлая пашня), наличия лесомелиоративных полос и пр.

В то же время исследования показывают, что осадки в осенний и зимний периоды выпадают сплошным фронтом, поэтому снежный покров за холодный период года создается более-менее равномерным по всей территории водосбора, и сток талой воды, накопленной в снеге, так же может быть равномерным при одинаковых условиях (уклоны, почвы и пр. факторы). Эти обстоятельства позволяют использовать этот показатель для расчета стока талых вод, но при этом обязательно учитывать внешние факторы, влияющие на интенсивность таяния снега и величину стока.

Коэффициент K_T , учитывающий объем стока талых вод в зависимости от условий снеготаяния, определяется по укрупненным показателям, которые возможно использовать для прогноза стока талых вод с больших территорий, однако для конкретного водосбора или части водосбора применение этих коэффициентов по рекомендуемым зонам даст большую погрешность в размерах исчисленного ущерба и может быть опротестовано землепользователями, виновниками загрязнения ПВО.

Более достоверные данные возможного объема стока талых вод можно получить по конкретным натурным наблюдениям для данного водосбора. Выпадение осадков в холодный период, и главное, данные о запасах воды в снеге перед активным снеготаянием можно получить на ближайшей метеостанции. Уклоны поверхности, типы почвы, состояние водосбора и прочие устанавливаются по проектам землеустройства и другим документам, или натурными наблюдениями.

Предложения по расчету стока. Для снижения ошибок при определении объема стока нами проведен большой объем работ по определению влияния на величину поверхностного стока различных факторов: типа почвы, уклона поверхности почвы, интенсивности дождя, состояния посевов и пр.

Учитывая вышесказанное, авторы считают возможным в Методических указаниях применить полученные новые результаты исследований для расчета объема стока талых и дождевых вод и массы ЗВ, поступающих в ПВО. Методология определения приводится ниже.

При этом нами предлагается отойти от методологии, изложенной в Методике, и предложить свою методологию определения объема стока дождевых и ливневых вод, более «привязанную» к конкретным условиям водосбора и основанную на полученных по результатам исследований уравнениях связи стока с природными факторами.

Объем стока талых вод

Объем стока талых вод так же предлагается определять по новой формуле:

$$O_T = 10 \cdot H_T \cdot K_{\text{комп.ст. T}} \cdot S, \quad (88)$$

где O_T – объем стока талых вод с водосбора (участка), м³;

10 – коэффициент перевода осадков из мм в м³/га.

H_T – запасы воды в снеге + осадки в период таяния снега, определяется по данным метеорологических наблюдений ближайшей метеостанции, мм;

$K_{\text{комп.ст. T}}$ – компенсационный коэффициент стока талых вод, в котором учитывается и гранулометрический состав по типам почв (таблица 153);

S – площадь сельхозугодий землепользователей, га.

Таблица 153 – Поправочные коэффициенты, влияющие на поверхностный сток и учитывающие гранулометрический состав по типам почв K_n [229]

Почва	Зябь (рыхлая пашня)	Уплот- ненная пашня
Средне- и тяжелосуглинистые		
Черноземы мощные и тучные	0,90	0,95
Черноземы выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные и каштановые почвы	1,0	1,0
Черноземы оподзоленные	1,05	1,03
Темно-серые лесные	1,08	1,03
Серые лесные и дерново-карбонатные	1,12	1,05
Светло-серые лесные	1,18	1,10
Дерново-подзолистые	1,20	1,10
Легкосуглинистые		
Дерново-подзолистые и серые лесные почвы лесной зоны	0,90	0,95
Серые лесные и черноземные почвы северной лесостепи	0,95	0,95
Черноземы и каштановые почвы южной лесостепи и степи	1,0	0,95
Супесчаные и песчаные		
Дерново-подзолистые и серые лесные почвы лесной зоны	0,50	0,60
Серые лесные и черноземные почвы северной лесостепи	0,80	0,75
Черноземы и каштановые почвы южной лесостепи и степи	1,0	0,85
Глинистые, щебнистые суглинистые		
Дерново-подзолистые и серые лесные почвы лесной зоны	1,20	1,10
Серые лесные и черноземные почвы лесостепи	1,25	1,15
Черноземы и каштановые почвы степной зоны	1,30	1,20

Объем стока дождевых (ливневых) вод

Объем стока дождевых (ливневых) вод с части водосбора или сельхозугодий хозяйствующего субъекта S_1 , S_2 и S_n предлагается рассчитывать по формуле (89):

$$O_d = 10 \cdot H_d \cdot K_{\text{комп. ст. д}} \cdot S_n, \quad (89)$$

где O_d – объем стока дождевых (ливневых) вод, м^3 ;

10 – коэффициент перевода осадков из мм в $\text{м}^3/\text{га}$.

H_d – слой ливневых осадков, определяемых по данным метеорологических наблюдений, мм. При расстоянии участка водосбора от метеостанции более 5 км, слой осадков для конкретного участка может определяться по разности показателей влажности почвы до и после ливня по формуле:

$$H_d = 100 \cdot h \cdot \alpha \cdot (V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}}), \quad (90)$$

где 100 – коэффициент перевода осадков из мм в $\text{м}^3/\text{га}$;

h – слой промачивания дождем, м;

α – объемная масса (плотность естественного сложения) слоя промачивания, $\text{т}/\text{м}^3$;

$V_{\text{кон}}$, $V_{\text{нач}}$ – соответственно влажность почвы конечная (после дождя) и начальная (до дождя), определяется для глубины слоя промачивания почвы, в % от массы абсолютно сухой почвы.

$K_{\text{комп. ст. д}}$ – коэффициент поверхностного стока.

Исследования, проведенные авторами в 2007 и 2008 годах, позволили получить достоверные уравнения связи поверхностного стока $K_{ст.}$ с природными факторами: уклоном поверхности почвы I (град.), водопроницаемостью почвы d (мм/мин), интенсивностью осадков P_{in} (мм/мин):

$$K_{ст.} = 0,014063 + 0,090330 \cdot I - 0,056097 \cdot d + 0,063346 \cdot P_{in} \text{ при } R^2 = 0,97. \quad (91)$$

При отсутствии данных рассчитать начальную влажность почвы можно для различных видов культур с использованием биоклиматических коэффициентов водопотребления или по величине испарения на водобалансовых участках.

Объем стока вод с мелиорированных земель

Объем стока вод с мелиорированных земель – $O_{мел.}$. Хотя этот показатель представляет организованный сток, его, видимо, необходимо определять и учитывать в поверхностном стоке, так как в дренажно-сбросные коллекторы попадают не только дренажные грунтовые воды, но и поверхностный сток с полей, например, при орошении большими поливными нормами. Определяется для орошаемых земель по формуле:

$$O_{мел.} = K_{мел.} \cdot H, \quad (92)$$

где $O_{мел.}$ – объем стока ирригационных вод, $м^3$;

$K_{мел.}$ – коэффициент стока с мелиорируемых земель (от H составляет от 0,1 при соблюдении технологии орошения до 0,25 при нарушении технологии орошения);

H – оросительная норма, $м^3/га$.

Объем стока с осушаемых земель определяется по формуле:

$$O_{осуш.} = 10 \cdot K_{осуш.} \cdot P, \quad (93)$$

где $O_{осуш.}$ – объем стока с осушаемых земель, $м^3/га$;

$K_{осуш.}$ – коэффициент стока с осушаемых земель (составляет 0,3–0,5 от суммы выпавших осадков за учитываемый период; 0,3 – в зимний период и 0,5 в летний период);

P – осадки за учитываемый период, мм.

Как уже ранее отмечалось, данные по объему стока и концентрации i -го ЗВ в жидком стоке необходимы для расчета массы i -го ЗВ, поступившего с талыми или дождевыми водами в ПВО. Более точные данные по этим показателям можно получить по натурным исследованиям. В случае их отсутствия – по косвенным показателям и уравнениям связи, полученным авторами.

6.3.13 Комментарии к методам определения концентрации загрязняющих веществ в жидком стоке

Концентрацию i -го C_i ЗВ в жидком стоке желательно определять натурными исследованиями. Однако такой учет проводится в постоянных водотоках на постах (створах) гидрохимических и гидрологических, а провести учет качества жидкой фазы поверхностного стока с части водосбора хозяйствующего субъекта (особенно с каждого поля севооборота на агроландшафтах) практически невозможно из-за потребности в огромном количестве исследований.

При отсутствии натуральных данных о концентрации i -го C_i ЗВ, поступившего в составе жидкой фазы поверхностного стока с земель сельскохозяйственного использования, а также для прогноза поступления биогенных веществ с поверхностным стоком в связи с увеличением доз внесения удобрений, нами предлагается проводить расчеты по полученным зависимостям.

Концентрация биогенных веществ в стоке талых, ливневых вод и вод с мелиорированных земель зависит от наличия питательных веществ в почве и определяется по формуле:

$$C_i = K_{\text{вын}i} \cdot C_{\text{почв}i} \quad (94)$$

где C_i – концентрация i -го биогенного вещества в жидком стоке, мг/дм³;

$K_{\text{вын}i}$ – коэффициент выноса i -го биогенного вещества из почвы;

$C_{\text{почв}i}$ – содержание биогенных веществ в пахотном (0–20–30 см) слое почвы, мг/кг.

Коэффициент $K_{\text{вын}}$ в каждом конкретном случае будет зависеть от наличия питательных веществ в почве $C_{\text{почв}}$. Авторами получены уравнения связи, позволяющие рассчитать концентрацию i -го биогенного вещества по данным $C_{\text{почв}}$ и $K_{\text{вын}}$.

Значения $C_{\text{почв}i}$ определяются по натурным наблюдениям в пахотном слое почвы или берутся из картограмм обеспеченности почв элементами питания или проектов землеустройства хозяйства.

Для определения различных форм азота аммиачного, нитратного или нитритного приводятся значения C_i в зависимости от содержания в почве азота легкогидролизуемого ($N_{\text{ЛГ}}$) или нитратного ($N_{\text{НИТ}}$) (выбор зависит от наличия данных у землепользователя).

При заилении водоемов, а также попадании твердой фазы стока в ПВО возникает необходимость исчислять ущерб от попадания i -го ЗВ в ПВО со смытой почвой, так как содержащиеся в иле ЗВ со временем могут раствориться и увеличить концентрацию ЗВ в воде водного объекта, т. е. перейти из ила в воду.

Для расчета массы выноса i -го ЗВ с твердым стоком необходимо знать содержание биогенных веществ в смываемой почве (в пахотном слое) и количество биогенных веществ, перешедших в жидкий сток талых или дождевых вод в процессе поверхностного стока. В целом с сельскохозяйственного водосбора $M_{\text{ТВ.СТ}i}$ определяется для талых и ливневых вод по формуле:

$$M_{\text{ТВ.СТ}i} = W_{\text{п}} \cdot S \cdot \frac{(П_i - П_i \cdot K_{\text{вын}}) \cdot 10^{-6}}{W_{\text{п}}}, \quad (95)$$

где $M_{\text{ТВ.СТ}i}$ – масса i -го загрязняющего вещества, поступившего с твердым стоком, т;

$W_{\text{п}}$ – масса почвы, смытая с твердым стоком (определяется как $W_{\text{п}} = (O_{\text{Т}} \text{ или } O_{\text{Д}}) K_{\text{ТВСТ}}$, в т/га;

S – площадь водосбора, га;

$П_i$ – содержание i -го ЗВ в смываемой почве, кг/т;

$K_{\text{вын}i}$ – концентрация i -го ЗВ в воде поверхностного стока с этого участка, мг/дм³.

6.4 Комментарии к применению компенсационных коэффициентов

Применение почвоохранных мероприятий обеспечивает: снижение показателей объемов поверхностного стока талых и ливневых вод $O_{\text{Т}}$ и $O_{\text{Д}}$, коэффициента стока $K_{\text{СТ}}$, массы ЗВ $M_{\text{НС}}$, попадающих в ПВО, и ущерба от загрязнения $У$ и дает возможность использовать поправочные компенсационные коэффициенты $K_{\text{КОМП}}$ при разграничении ответственности землепользователей, находящихся на одном

водосборе, за ущерб, нанесенный ПВО. Эффективность применения компенсационных мероприятий оценивается через ряд компенсационных коэффициентов [229].

Коэффициент компенсации стал комплексным показателем оценки снижения объемов поверхностного стока талых и ливневых вод в зависимости от применяемых компенсационных мероприятий и определяется как произведение поправочных коэффициентов, характеризующих факторы, влияющие на поверхностный сток с соответствующей площади сельхозугодий, учитывающие как природные условия, так и природоохранные мероприятия на соответствующем водосборе:

- для талых вод:

$$K_{\text{комп.ст.}} = K_{\text{п}} \cdot K_L \cdot K_{\text{ов}} \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{ук}} \cdot K_{\text{агр}} \cdot K_{\text{лес}} \cdot K_{\text{гтс}} \cdot K_{\text{эр}} \cdot K_{\text{вл}}; \quad (96)$$

- для дождевых вод:

$$K_{\text{комп.ст.}} = K_{\text{п}} \cdot K_L \cdot K_{\text{ов}} \cdot K_{\text{пп}} \cdot K_{\text{ук}} \cdot K_{\text{агр}} \cdot K_{\text{лес}} \cdot K_{\text{гтс}} \cdot K_{\text{эр}} \cdot K_{\text{вл}}, \quad (97)$$

где $K_{\text{комп.ст.}}$ – компенсационный коэффициент стока;

$K_{\text{п}}$ – поправочный компенсационный коэффициент, учитывающий тип почв по гранулометрическому составу;

K_L – удаленность сельскохозяйственного угодья от водотока, определяется по уравнению регрессии $K_L = 2,2758 \cdot e^{-0,6663x}$ при $R^2 = 0,93$;

$K_{\text{ов}}$ – коэффициент, учитывающий насыщенность овражной сетью, определяется по уравнению регрессии $K_{\text{ов}} = 0,0568 \cdot x^2 + 0,3629 \cdot x + 0,7233$;

$K_{\text{пп}}$ – коэффициент, учитывающий степень проективного покрытия поверхности почвы растениями, влияющего на сток дождевых вод, определяется по уравнению регрессии $y = -0,4121 \cdot \ln(x) + 0,8676$ при $R^2 = 0,90$;

$K_{\text{уп}}$ – коэффициент, учитывающий условия стока талых вод по уплотненной пашне и зяби;

$K_{\text{ук}}$ – поправочный коэффициент на сток талых и дождевых вод, учитывающий уклон местности;

$K_{\text{агр}}$ – компенсационные агротехнические мероприятия;

$K_{\text{лес}}$ – коэффициент, учитывающий компенсационные лесомелиоративные мероприятия, определяется по уравнениям регрессии для полевых и прибалочных лесополос;

$K_{\text{гтс}}$ – коэффициент, учитывающий компенсационное влияние на сток простейших гидротехнических сооружений;

$K_{\text{эр}}$ – поправочный коэффициент на эрозионный потенциал (предлагается определять по Н. И. Хрисанову, Г. К. Осипову [230] по формуле:

$$K_{\text{эр}} = (L/22/1)^m \cdot (0,065 + 4,56 \cdot q + 65,4 \cdot q^2) \quad (98)$$

где L – длина склона, м;

m – показатель степени, равный: при уклонах соответственно менее 1 % = 0,21; 3 % = 0,3; 3–5 % = 0,4 и более 5 % = 0,5;

q – уклон рельефа, %;

$K_{\text{вл}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий степень увлажнения почвы перед дождем.

Можно определять $K_{\text{вл}}$ (K_t) по уравнению А. Н. Костякова [231]:

$$K_t = K_0 \cdot t^{-a}, \quad (99)$$

где K_t – коэффициент, учитывающий интенсивность впитывания в момент t , определяется по зависимости, полученной авторами:

- для сухой почвы $y_{\text{сух}} = 33,803 \cdot x^{-0,3668}$ при $R^2 = 0,89$;

- для увлажненной почвы $y_{\text{увл}} = 44,184 \cdot t^{-0,5778}$ при $R^2 = 0,97$.

K_0 – интенсивность впитывания в начале впитывания, мм/мин;

t – время впитывания, мин;

a – коэффициент затухания скорости впитывания в зависимости от свойств почв и их исходной влажности, составляет: 0,8 для глинистых почв, 0,5–0,6 для суглинистых, 0,4 – супесчаных, 0,3 – песчаных и 0,2 для торфа (торфянистых почв).

Коэффициенты $K_{\text{уп}}$, $K_{\text{пп}}$, $K_{\text{ук}}$, $K_{\text{агр}}$, $K_{\text{лес}}$ и $K_{\text{гтс}}$ определяются отдельно для каждого поля и землепользователя как средневзвешенные величины. Например: $K_{\text{уп}} = (K_{\text{уп}1} \cdot S_1 + K_{\text{уп}2} \cdot S_2 + \dots + K_{\text{уп}n} \cdot S_n) / S$.

Общая величина выноса i -го биогенного вещества $M_{\text{общ.ст.}i}$ с площади водосбора (участка поля) одного землепользователя примет вид:

$$M_{\text{общ.ст.}i} = (M_{\text{жидк.ст.}i} + M_{\text{тв.ст.}i}) \cdot S \cdot K_{\text{комп}}, \quad (100)$$

где $M_{\text{общ.ст.}i}$ – общая масса загрязняющих веществ, поступивших в ПВО с поверхностным стоком, т/га;

$M_{\text{жидк.ст.}i}$ и $M_{\text{тв.ст.}i}$ – масса i -го загрязняющего вещества, поступившего с поверхностным стоком, соответственно с жидкой и твердой фазами, т;

S – площадь сельскохозяйственного водосбора или части водосбора землепользователя, га;

$K_{\text{комп}}$ – компенсационный коэффициент стока.

Приведенные выше формулы расчета позволяют определить массу i -го ЗВ, поступившего в ПВО, рассчитать ущерб от поверхностного стока для водосбора в целом или отдельного участка и, при необходимости, разграничить ответственность землепользователей за вред, нанесенный водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования.

7 КОММЕНТАРИИ К «МЕТОДИЧЕСКИМ УКАЗАНИЯМ ПО НАЗНАЧЕНИЮ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УЩЕРБА ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ»

7.1 Комментарии к методологии выбора и назначения компенсационных мероприятий по снижению поверхностного стока с земель сельскохозяйственного использования

С целью рациональной организации сельскохозяйственных угодий, различающихся между собой различной интенсивностью поверхностного стока, необходимо разделить территорию по категориям использования. Каждая категория характеризуется признаками агроландшафтных экосистем по общности:

- однообразия качественного состояния почв;
- характера и степени увлажнения;
- интенсивности проявления поверхностного стока;
- системы компенсационных мероприятий.

В разделе категорий использования сельскохозяйственные земли подразделяют на весьма интенсивное, интенсивное, умеренное, ограниченное, весьма ограниченное, пахотонепригодные и неиспользуемые.

Для разработки компенсационных мероприятий осуществляют топографическую съемку местности и составляют почвенно-эрозионную карту М от 1:10000 до более мелкой. Можно использовать данные полевого дешифрирования аэрокосмических снимков. Точность съемки определяется целями и задачами исследований, а также назначения компенсационных мероприятий.

Порядок разработки проекта компенсационных мероприятий следующий. Первоначально составляют ландшафтную карту-гипотезу на основе топографической карты, используя метод пластики рельефа (проведение морфоизоги по точкам перегиба горизонталей, тальвегам и водоразделам). При этом на карте выделяют несколько контуров. По каждому контуру собирают информацию: площадь, экспозиция и крутизна склонов, почвы, распаханность, облесенность, фитоценозы и микроклимат и др. Данная информация служит легендой будущей ландшафтной карты.

На аэрокосмических снимках выделяют конкретные объекты, находят эти объекты в поле и производят привязку к координатам. На основании этого определяют ключевые участки (типичные урочища и фации) и прокладывают ландшафтные профили, закрепляя их на фотоизображении и карте-гипотезе.

В поле (на местности) по ключевым участкам проводят необходимые исследования и характеризуют лесные насаждения, агроценозы, почвы, выявляют особенности поверхностного стока и антропогенных явлений, влияющих на природные процессы и поверхностный сток, собирают другую информацию.

Наносят полученную информацию на карту-гипотезу (в пределах выделенных контуров, урочищ и фаций) и преобразуют ее в ландшафтную карту. В ходе этого окончательно составляют ее легенду.

При ландшафтном картографировании для назначения компенсационных мероприятий необходимо выделять следующие подразделения ландшафтной организации территории: (агро)ландшафтная полоса и (агро)ландшафтный ярус.

(Агро)ландшафтная полоса – группа фаций, ориентированных в соответствии с границами энергообмена, что обеспечивает ее энергетическую целостность. При выделении такой полосы ориентируются на особенности проявления поверхностного стока, увлажнение и иссушение почв, формирование естественных и техно-

генных аномалий. Агроландшафтная полоса – место размещения системы компенсационных мероприятий.

(Агро)ландшафтный ярус – это несколько территориально смежных (парогенетических) ландшафтных полос со сходным уровнем геохимической устойчивости и высотным положением.

Из полос и ярусов складывается катета – последовательное расположение подразделений ландшафтной территории на водосборе от водораздела до базиса эрозии оврага или реки.

Далее проводят выбор элементарной структурной единицы агроландшафта для проектирования комплекса компенсационных мероприятий по снижению поверхностного стока, которые должны согласовываться с системой ландшафтного земледелия и учитывать многие факторы.

Согласно разработкам ВНИИЗиЗПЭ, фация не может служить такой единицей, т. к. их на земной поверхности великое множество и изучить каждую в отдельности практически невозможно. Поэтому в агроландшафтах наиболее приемлемой элементарной единицей является почвенная разновидность [16].

Почвенные разновидности объединяются в агроландшафтный контур по однородности и типичности технологического воздействия и адаптивности культур к этим условиям, который на практике может представлять рабочий участок (поле).

Затем относительно однородные агроландшафтные контуры по генетическим, геоморфологическим, гидрологическим признакам и микроклиматическим условиям объединяются в агроландшафтные массивы-ярусы, на основе которых и формируются поля севооборотов.

В агроландшафтных массивах-ярусах выделяют агроландшафтные полосы по критерию интенсивности потоков, с целью исключения негативных процессов, возникающих в результате интенсивного движения водных и воздушных горизонтальных потоков и предотвращения их воздействия на почву, микроклимат и в целом на окружающую среду.

Выделение структурных единиц агроландшафта целесообразно производить по принципу от общего к частному: агроландшафт → массив → агроландшафтная полоса → контур, или от частного к общему.

Проектирование систем земледелия, связанных с определенным набором культур, их чередованием, технологиями возделывания производят по принципу от частного к общему: → контур → полоса → массив.

Сначала выделяются и группируются земли по уровню поступления суммарной радиации, затем с учетом режима увлажнения и рельефа определяются однородные массивы земель, после чего выделяются контуры по различиям в плодородии почв и культуртехническому состоянию земель.

С учетом конкретных условий выделяется агрофация, в которой поконтурно (или для группы однородных контуров) определяется набор культур, их чередование, технология возделывания и почвоохранные компенсационные мероприятия.

Агрофации располагаются вдоль горизонталей (поперек склона) и имеют вид вытянутых ландшафтных полос, используемых дифференцированно в соответствии с системой компенсационных мероприятий. По условиям механизации площади агрофаций не лимитируются. Однако желательно иметь площадь не менее сменной нормы выработки на вспашке, т. е. 5–20 га.

Агрофации должны соблюдать следующие требования:

1 Выделение экологически однородных участков (агрофаций) по типу почв, по пищевому, водному, тепловому и воздушному (ветровому) режимам.

Все это в значительной мере учитывается в картограммах классов земель по эрозионной опасности. Они используются в проектировании для выделения экологически однородных участков и назначения компенсационных мероприятий. Выделенные на плане названные участки часто представляют собой территориальные полосы, именуемые «ландшафтными полосами».

2 Формирование агрофаций в большой мере зависит от сети лесных полос, кустарниковых кулис и других мелиоративных элементов. От них зависит ширина и длина экологически однородных выделов.

3 Производительное использование сельскохозяйственной техники и обеспечение полевой дорожной сетью. При окончательном формировании агрофаций длинные ландшафтные полосы (более 1500–2000 м) делятся поперек с целью создания рациональных участков для обработки и удобного их хозяйственного обслуживания.

Выделение агроландшафтных полос при картографировании производят по карте топографической съемки, содержащей сведения о крутизне склонов. Их составляют на основе топографических карт М 1:10000 или 1:25000. Очевидно, что чем гуще на карте расположены горизонталы, тем круче склон.

При составлении карты уклонов поверхности агроландшафта продвигают масштаб заложения между горизонталями таким образом, чтобы размеры, соответствующие заложениям, были бы перпендикулярны горизонталям. Границы отрезков горизонталей, соответствующие той или иной градации уклона, отмечают простым карандашом. Затем отрезки с одной и той же градацией уклонов соединяют. В результате получается карта крутизны склонов. Карту крутизны склонов обычно оформляют штриховкой или цветом: чем круче склон, тем интенсивнее штриховка или окраска.

Для характеристики линейной эрозии почв составляют карту относительных высот (глубин местных базисов эрозии). Ее строят следующим образом. В начале на топографической основе крупного масштаба проводят тальвегу долин и балок, а также водораздельные линии между ними. Далее от точки замыкания каждой горизонтали на тальвег эрозионной формы до ближайшего водораздела проводят линии наибольшего падения склонов. На каждой линии отмечают точки пересечения с горизонталями и затем через точки с одинаковой высотой проводят изолинии превышений. Карту оформляют окраской или штриховкой с учетом уклона поверхности.

Используя указанные материалы, можно с большой точностью выделить однородные участки (агроландшафтные полосы) для разработки системы компенсационных мероприятий.

7.2 Комментарии к системам компенсационных мероприятий на водосборах

Система компенсационных мероприятий на водосборах наиболее интенсивно и последовательно начала разрабатываться в нашей стране с начала 80-х годов прошлого века [127, 128]. Она получила название «контурно-мелиоративная система земледелия».

Контурно-мелиоративное земледелие представляет собой высокоорганизованный управляемый природно-технический комплекс (агроландшафт), который в свою очередь создается на основе особенностей строения и функционирования природных комплексов. Это обуславливает необходимость проведения ландшафтных исследований и учета их результатов при разработке и внедрении контурно-мелиоративного земледелия, что позволяет обеспечить:

- необходимую системность подхода к решению поставленной задачи;

- преемственность и подчиненность элементов контурно-мелиоративного земледелия различного уровня друг другу.

Комплекс, а точнее система компенсационных мероприятий при переходе на контурно-мелиоративное земледелие основана на искусственном расчленении эрозионно-опасной территории с целью ослабления лавинообразного эффекта поверхностного стока талых и дождевых вод, других негативных явлений, разрушающих почву. В той или иной степени такое расчленение территории выполнялось и ранее. Новым явилось тогда органическая увязка линейных элементов в единую систему, согласованную со строением ландшафта территории и хозяйственной деятельностью.

Почвозащитная направленность системы земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории обеспечивала защиту почв от эрозии в районах со сложным рельефом и значительным удельным весом эродированных почв и оврагов. Система контурно-мелиоративного земледелия органически вписывается в существующие природные ландшафты, ведет к созданию устойчивых, высокопродуктивных агроэкосистем.

Сущность системы заключается в следующем.

На склонах круче 1° применяется взаимосвязанный комплекс противоэрозионных агротехнических, лесомелиоративных, лугомелиоративных и гидротехнических мероприятий, и осуществляется контурная организация территории. Все ее элементы (границы полей севооборотов, рабочих участков, полосные лесные насаждения, гидротехнические сооружения, направления движения сельскохозяйственной техники при выполнении всех технологических операций по выращиванию культур) размещаются по контуру, т. е. по горизонталям рельефа или с небольшими отклонениями от них. Пространственное размещение эколого-ландшафтных контурных полос и линейных элементов системы на местности производится на основании гидрологических расчетов.

Поверхностный сток талых и дождевых вод направляется по склонам перпендикулярно линейным рубежам, задерживается ими в расчетных объемах или частично сбрасывается в прилегающие балки по естественно или искусственно залуженным водотокам. В результате этого смыв и размыв почвы снижается до допустимых пределов, прекращается рост существующих оврагов, ликвидируются возможности возникновения новых, предохраняются от загрязнения продуктами эрозии водные объекты

Аналогичная система была осуществлена во ВНИИЗиЗПЭ (г. Курск). Здесь за основу брались элементарные водосборы (от высшей до самой низкой точки относительно местного базиса эрозии) и на них создавались различные виды компенсационных мероприятий [38].

Наблюдения на экспериментальном объекте в ОПХ Медвенского района Курской области, состоящем из пяти ложбинно-балочных водосборов (общая площадь 271 га), проводились в 1996–2000 гг. За пятилетний период четыре года оказались с пониженным количеством выпавших дождевых осадков, высота снега на контроле в среднем составила 16 см, тогда как на более мощных в противоэрозионном отношении вариантах была 21 см, т. е. в среднем на 31 % больше (таблица 154). Наибольший сток был в 1996 г. (на водосборе № 3 – 71,8 мм), тогда как на водосборе № 5 он составлял 23,6 мм, смыв почвы на контроле 1999 г. (озимые) был 3,9 т/га, а на остальных вариантах отсутствовал (таблица 154).

Таблица 154 – Влияние зернопропашного севооборота, лесогидромелиоративного комплекса и контурной обработки на эрозионно-гидрологические процессы и урожайность зерновых культур

Показатель	Вариант и противоэрозионный прием					
	Контроль (вод. № 3)		Лесные полосы через 216 м (вод. № 5)		Лесные полосы через 216 м + ва- лы-террасы через 54 м (вод. № 4)	
	абсолют- ная величина	%	абсолют- ная величина	%	абсолют- ная величина	%
Высота снега, см	16,2	100	21,2	130,9	20,2	124,7
Запасы воды в снеге и мерзлой корке + осадки, мм	66,4	100	83,0	125,0	83,0	125,0
Поверхностный сток, мм	15,8	100	4,7	29,7	7,6	48,1
Водопоглощение, мм	50,6	100	78,3	154,7	75,4	149,0
Смыв почвы, т/га	1,26	100	0,07	5,6	0,19	15,1
Урожайность зерновых культур, ц/га	23,2	100	27,2	117,2	26,9	115,9
Расход влаги на формиро- вание 1 ц сухой продукции:						
- ячмень (2000 г.), мм	419	100	305	72,8	344	82,1
- озимая пшеница (1999 г), мм	476	100	438	92,1	454	95,4

Было установлено, что на варианте валы-террасы + двухрядные лесные полосы максимальные запасы влаги отмечены в выемочной части (ВЧ) валов-террас как в начале (274–336 мм), так и в конце вегетационного периода (169–269 мм), независимо от предшественников возделываемых культур в отдельные годы (1996, 1999, 2000) значительно меньшие запасы отмечены на сухом откосе (СО) северной и южной экспозиции. Эта разница в среднем составила 38 мм по сравнению с ВЧ, хотя на западной экспозиций такая закономерность не прослеживается. На варианте только с двухрядными контурными лесными полосами максимальные запасы общей влаги 294–352 мм отмечены на расстоянии в 25 м выше и ниже лесной полосы только в 1996 и 1997 гг., а в период занятых паров (1998 г.) и посевах озимой пшеницы (1999 г.) максимум запасов сместился по склону до 50 м (выше и ниже лесной полосы). В 2000 г. на посевах ячменя максимум влаги (298–305 мм) был отмечен в 10 м от лесной полосы (вверх и вниз от нее).

В целом следует отметить, что для всей длины склона предлагаются одни и те же компенсационные мероприятия, что не отражает специфику развития поверхностного стока в зависимости от крутизны и экспозиции склонов.

На основании особенностей проявления поверхностного стока, анализа стокорегулирующей и противоэрозионной эффективности отдельных компенсационных приемов и их сочетаний ученые ВНИАЛМИ предложили систему почвозащитных мероприятий также в целом для водосбора. При этом учитывалась специфика эрозионно-гидрологического процесса на сильно эродированных землях присетьевого и гидрографического ландшафтных поясов – эрозионных земельных фондов. В качестве основного аргумента построения системы компенсационных мероприя-

тии приводятся осредненные величины максимального водопоглощения, слоя поверхностного стока и его изменения под влиянием тех или иных приемов.

Ими была установлена высокая противоэрозионная эффективность сочетания защитных лесных насаждений со специальными агротехническими приемами. Они оказывают влияние на природные факторы, вызывающие сток талых вод – это глубина промерзания и увлажнения почвы, величина снегозапасов. К таким приемам относится крупнополосное размещение сельскохозяйственных культур в системе стокорегулирующих лесополос. При неравномерном снегоотложении в межполосном пространстве создаются различные условия для эрозионно-гидрологического процесса. Вблизи лесных полос и шлейфовых зон высевают яровые культуры, под которые требуется вспашка зяби, а в межшлейфовых частях межполосного пространства – многолетние травы. Сток, образующийся на многолетних травах, удерживается и поглощается полосами зяби вблизи лесных полос.

Второй способ заключается в создании системы лесных полос в сочетании с кулисами из высокостебельных сельскохозяйственных растений. Лесные полосы размещаются поперек склона или по контуру с наименьшей сверху вниз по склону ветропроницаемостью: продуваемая, ажурно-продуваемая, ажурная и плотная. При применении этого способа весь выпавший снег откладывается на полях относительно равномерно с увеличением мощности его сверху вниз, что обуславливает постепенное стаивание его в этом же направлении. При таком освобождении почвы от снега смыва почти не бывает [20].

Как видно из приведенных данных, речь идет не о системе компенсационных мероприятий как таковой, а о возможном и желательном наборе приемов и мероприятий с учетом земель (эрозионных земельных фондов).

Анализируя представленные данные и литературные источники по системному подходу к системе компенсационных мероприятий в рамках контурно-мелиоративного земледелия, можно отметить ряд нерешенных вопросов. Мало внимания было уделено оптимизации соотношения сельскохозяйственных угодий (пашни, сенокосы, пастбища, лесные насаждения и др.), оценке ресурсного потенциала земель, дифференциации их по функционально-целевому назначению и др. Все эти вопросы решаются при формировании систем земледелия на ландшафтной основе [131–133].

Данный этап развития системы компенсационных мероприятий базируется на следующих теоретических положениях, отражающих закономерности функционирования агроландшафтов как единства природных и хозяйственных компонентов – основных производителей энергии органического вещества:

- теоретические и практические основы создания экологически безопасной конструкции агроландшафта путем оптимизации состава и структуры его компонентов;

- адаптивное размещение культур в пространстве (агроландшафтная полоса) и времени с учетом их генетического потенциала и особенностей агроландшафта;

- нормативная обеспеченность воздействий на почву, растения и атмосферу для получения определенного объема продукции и сохранения экологически безопасного состояния агроландшафта;

- мониторинг и оценка состояния агроландшафта [131].

Ландшафтная система включает не только компенсационную систему земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории, но и дифференцированное размещение в зависимости от крутизны склонов и интенсивности поверхностного стока севооборотов, различных по почвозащитной направленности; систему

обработки почв, адаптированную к каждому рабочему участку; систему удобрений для почв с разным уровнем плодородия; систему расширенного воспроизводства органического вещества почвы за счет рационального использования навоза, компостов, некормовой соломы, сидератов; комплекс агролесомелиоративных мероприятий с созданием контурных водорегулирующих, полевых защитных и приовражно-балочных лесных полос, сплошного облесения сильноэродированных земель; систему водозадерживающих и водоотводящих гидротехнических сооружений [133].

В различных ландшафтных условиях система компенсационных мероприятий должна быть различна. Например, в Центрально-Черноземной зоне Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии предлагает для каждого типа агроландшафта свой набор приемов и мероприятий: в плакорно-равнинной части он должен быть представлен полевыми защитными лесными полосами и структурой посевных площадей: в севооборотах возделываются любые культуры, в том числе и с низкой почвозащитной способностью (свекла, кукуруза, картофель, подсолнечник). Здесь применяют зональную технологию обработки почвы и интенсивные приемы агротехники с чередованием в севообороте по годам направления вспашки и посева. Площадь пашни может достигать 75–80 % [131–134].

В склоново-ложбинной части агроландшафта с преобладанием неэродированных и слабоэродированных почв основу системы составляют стокорегулирующие лесные полосы по границам рабочих участков и буферные полосы на паровых полях, которые размещают поперек основного склона в зернопаровых и зернопаропропашных севооборотах. Площадь пашни не более 60–70 %. В склоново-овражной части агроландшафта компенсационные мероприятия включают стокорегулирующие лесные полосы в сочетании с простейшими гидротехническими устройствами, горизонтальные или наклонные валы-террасы, распылители стока, водоотводящие и водозадерживающие валы-канавы. Почвозащитные технологии обработки почвы включают приемы глубокого рыхления, вспашки и щелевания поперек склона или по горизонталям. Площадь пашни не более 45–60 %. На прямых и вогнутых склонах осуществляют полосное размещение культур.

На агроландшафтных полосах с сильными эрозионными процессами применяют контурное полосное размещение культур, стокорегулирующие и прибалочные лесные полосы, усиленные валами-канавами.

В балочно-овражной части агроландшафта система компенсационных мероприятий включает стокорегулирующие лесные полосы в сочетании с простейшими гидротехническими устройствами, горизонтальные или наклонные валы-террасы, распылители стока, водоотводящие и водозадерживающие валы-канавы. Здесь применяют почвозащитные севообороты, в структуре которых не менее 50 % занимают многолетние травы и площадь пашни не должна превышать 35–50 %. Все технологические операции в рабочих контурах и полосах выполняют преимущественно по горизонталям местности.

На крутых склонах (более 8°), отведенных под сплошное залужение многолетними травами и лесолуговое освоение, система компенсационных мероприятий представлена приовражными лесными полосами, сплошными и колковыми лесными насаждениями, кустарниковыми илофильтрами, террасами, донными запрудами, залуженными участками и естественными массивами леса и луга. Здесь проводят частичную рекультивацию и факультативное щелевание залуженных участков. Площадь пашни не более 20–30 %. Под сплошное облесение в балочной сети отводят овраги, сильно изрезанные размывами участки балок, оползней, обнажения коренных пород и другие бросовые земли.

В пойменно-водоохранной части агроландшафта компенсационный комплекс состоит из приовражных защитных лесонасаждений, массивов леса и луга, лиманов, водозадерживающих валов и валов-террас, валов-каналов, распылителей стока. На посевах многолетних трав, сенокосах и выгонах применяют щелевание поперек склона через 2–4 м. При выпасе скота не превышают допустимые нагрузки на пастбища. Допускается доля пашни не более 10–20 %.

Выбор методов назначения компенсационных мероприятий и порядок их выполнения изложен в Методических указаниях по назначению компенсационных мероприятий по снижению ущерба от поверхностных стоков. Структура Методических указаний приводится на рисунке 170.



Рисунок 170 – Структура Методических указаний по назначению компенсационных мероприятий по снижению размера ущерба от поверхностного стока

8 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА УЩЕРБА

На основании данных многолетних исследований получены уравнения и зависимости поверхностного стока и выноса загрязняющих веществ от различных факторов, на основе которых для моделирования ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком, были разработаны следующие компьютерные программы автоматизированных моделей расчета:

- модель расчета массы загрязняющего вещества по натурным показателям;
- модель расчета ущерба от заиления;
- модель расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с тальми водами по косвенным показателям;
- модель расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами по косвенным показателям;
- модель расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка) по косвенным показателям;
- модель расчета массы биогенного вещества в почве поля (участка) хозяйствующего субъекта по косвенным показателям.

8.1 Модель расчета массы загрязняющего вещества по натурным показателям

Исполняемый файл – «M_Natur.exe». Модель рассчитывает массу любого загрязняющего вещества для одного выбранного объекта по натурным показателям.

Имеется четыре типа объекта: «река», «озеро», «овраг», «ирригация». В программу, в зависимости от принадлежности выбранного объекта, вводятся соответствующие данные (рисунки 171–174). На рисунках изображено окно программы данной модели. Выбор типа объекта осуществляется с помощью переключателя «Тип объекта».

Модель расчёта массы загрязняющего вещества по натурным показателям

Исходные данные

Тип объекта

Река

Озеро

Овраг

Ирригация

Расчёт

Данные для объектов типа "Река"

Расход воды на нижнем створе, м³/с:

Концентрация в-ва, превышающего ПДКр/х на нижнем створе, мг/дм³:

Время в течении которого проводилось загрязнение, ч:

Результаты расчёта

Масса загрязняющих веществ, поступивших с данного объекта, т:

Рисунок 171 – Окно программы модели расчета массы загрязняющего вещества по натурным показателям «Река»

Модель расчёта массы загрязняющего вещества по натурным показателям

Исходные данные

Тип объекта

Река

Озеро

Овраг

Ирригация

Расчёт

Данные для объектов типа "Озеро"

Начальный объём воды, м³:

Конечный объём воды, м³:

Начальная концентрация вещества до поступления загр. веществ. со стоком, мг/дм³:

Конечная концентрация вещества после поступления загр. веществ. со стоком, мг/дм³:

Результаты расчёта

Масса загрязняющих веществ, поступивших с данного объекта, т.

Рисунок 172 – Окно программы модели расчета массы загрязняющего вещества по натурным показателям для объекта типа «Озеро»

Модель расчёта массы загрязняющего вещества по натурным показателям

Исходные данные

Тип объекта

Река

Озеро

Овраг

Ирригация

Расчёт

Данные по жидкому стоку | Данные по твёрдому стоку

Расход воды на временном створе, м³/с:

Средневзвешенная концентрация в-ва в воде, превышающая ПДКр/х, мг/дм³:

Время в течении которого учитывали расход воды, ч:

Результаты расчёта

Масса загрязняющих веществ, поступивших с данного объекта, т.

Рисунок 173 – Окно программы модели расчета массы загрязняющего вещества по натурным показателям для объекта типа «Овраг»

Модель расчёта массы загрязняющего вещества по натурным показателям

Исходные данные

Тип объекта

Река

Озеро

Овраг

Ирригация

Расчёт

Данные для объектов типа "Ирригация"

Расход воды в дренажно-сбросном коллекторе, м³/с:

Концентрация в-ва, превышающего ПДКр/х в дренажно-сбросном коллекторе, мг/дм³:

Время в течении которого проводилось загрязнение, ч:

Результаты расчёта

Масса загрязняющих веществ, поступивших с данного объекта, т.

Рисунок 174 – Окно программы модели расчета массы загрязняющего вещества по натурным показателям для объекта типа «Ирригация»

Для объектов типа «Овраг» вводятся данные как по жидкому стоку, так и по твердому стоку. Ввод этих данных осуществляется в полях ввода на соответствующих закладках.

Для выполнения расчета необходимо во все поля ввода ввести соответствующие данные, а затем нажать кнопку «Расчет». Результат расчета отобразится в поле «Масса загрязняющих веществ, поступивших с данного объекта».

Ниже представлена блок-схема алгоритма для данной модели расчета (рисунок 175).

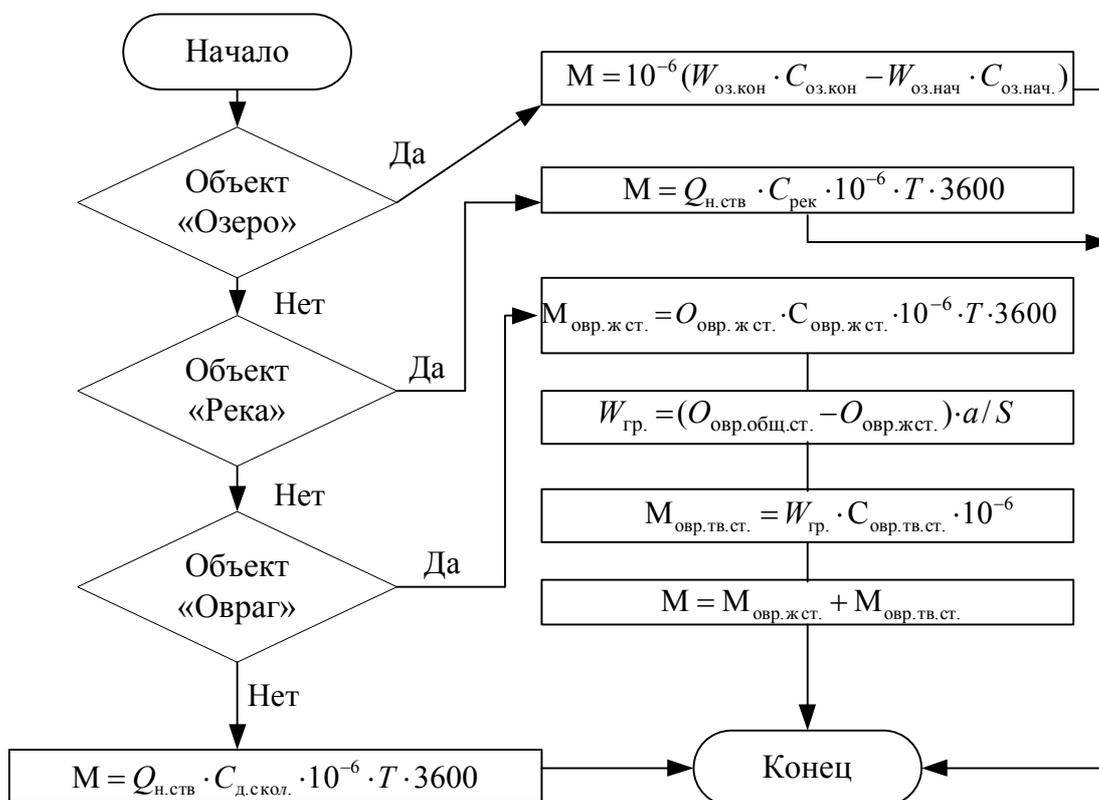


Рисунок 175 – Блок-схема алгоритма для модели расчета массы загрязняющего вещества по натурным показателям

На рисунке 175 приведены следующие обозначения:

M – масса загрязняющего вещества, поступившего в реку, озеро (пруд и прочие водные объекты), т;

$W_{\text{оз.кон.}}$ – объем воды в объекте типа «Озеро» в конце периода отсчета поступления ЗВ, м³;

$C_{\text{оз.кон}}$ – концентрация ЗВ в объекте типа «Озеро» в конце периода отсчета поступления ЗВ, мг/дм³;

$W_{\text{оз.нач.}}$ – объем воды в объекте типа «Озеро» в начале периода отсчета поступления ЗВ, м³;

$C_{\text{оз.нач.}}$ – концентрация ЗВ в объекте типа «Озеро» в начале периода отсчета поступления ЗВ, мг/дм³;

$Q_{\text{н.ств}}$ – расход воды на нижнем створе реки или канала, м³/с;

$C_{\text{рек}}$ – концентрация ЗВ в объекте типа «Река», мг/дм³;

T – время, в течение которого проводилось загрязнение, ч;

$M_{\text{овр.ж.ст.}}$ – масса ЗВ, поступившего с жидким стоком в объект типа «Овраг», т;
 $C_{\text{овр.ж.ст.}}$ – содержание ЗВ в жидком стоке объекта типа «Овраг», мг/дм³;
 $W_{\text{гр.}}$ – объем поступившего с поля ила (мелкозема) с поверхностным стоком в объект типа «Овраг», т/га;
 $O_{\text{овр.общ.ст.}}$ – общий сток для объекта типа «Овраг», т;
 $O_{\text{овр.ж.ст.}}$ – жидкий сток для объекта типа «Овраг», т;
 a – объемная масса твердого стока, т/м³;
 S – площадь поля (участка), га;
 $M_{\text{овр.тв.ст.}}$ – масса ЗВ, поступившего с твердым стоком в объект типа «Овраг», т;
 $C_{\text{овр.тв.ст.}}$ – содержание ЗВ в твердом стоке объекта типа «Овраг», мг/кг;
 $C_{\text{д.скол.}}$ – концентрация ЗВ в дренажно-сбросном коллекторе, мг/дм³.

8.2 Модель расчета ущерба от заиления

Исполняемый файл – «U_Zail.exe». Модель рассчитывает ущерб от заиления для конкретного объекта. На рисунках 176, 177 изображено окно программы данной модели.

The screenshot shows a software window titled "Модель расчёта ущерба от заиления". It is divided into two main sections:

- Исходные данные (Initial data):**
 - Затраты на очистку 1-го м³ ила и мелкозёма (по СНиП), тыс. руб.: [input field]
 - Инфляционный коэффициент индексации для расчёта затрат на очистку от заиления: [input field]
 - Определять объём твёрдого стока по:
 - по объёму диффузного стока
 - по разности объёмов в начале и в конце
 - Показатель мутности стока, мг/дм³: [input field]
 - Объём, поступившего в ПВО диффузного стока, м³: [input field]
 - Необходима транспортировка ила
 - Объёмная масса ила, т/м³: [input field]
 - Инфляционный коэффициент индексации для расчёта затрат на транспортировку ила: [input field]
 - Затраты на транспортировку 1 т/км ила и мелкозёма, тыс. руб.: [input field]
- Результаты расчёта (Calculation results):**
 - Объём твёрдого стока, м³: [input field]
 - Затраты на транспортировку ила, тыс.руб.: [input field]
 - Ущерб от заиления, тыс.руб.: [input field]

A "Расчёт" (Calculate) button is located between the two sections.

Рисунок 176 – Окно модели расчета ущерба от заиления

Определять объем твердого стока по:

по объему диффузного стока

по разности объемов в начале и в конце

Объем воды в ПВО в начале периода отсчета, м³ :

Объем воды в ПВО в конце периода отсчета, м³ :

Рисунок 177 – Данные для расчета по разности объемов

Для расчета необходимо во все поля ввести соответствующие данные и нажать кнопку «Расчет». Результаты расчета будут отображены в полях:

- «Объем твердого стока, м³» (промежуточный результат);
- «Затраты на транспортировку 1 т/км ила и мелкозема, тыс. руб.» (промежуточный результат);
- «Ущерб от заиления, тыс. руб.».

В данной модели объем твердого стока может быть определен двумя способами, выбор которых определяется переключателем «Определять объем твердого стока по...». Для каждого способа отображаются свои исходные данные для ввода.

При необходимости транспортировки ила при расчете надо включить переключатель «Необходима транспортировка ила» и ввести необходимые для этого данные. А если транспортировка ила не предусмотрена, то данный переключатель необходимо выключить.

Ниже представлена блок-схема алгоритма для данной модели расчета (рисунок 178).

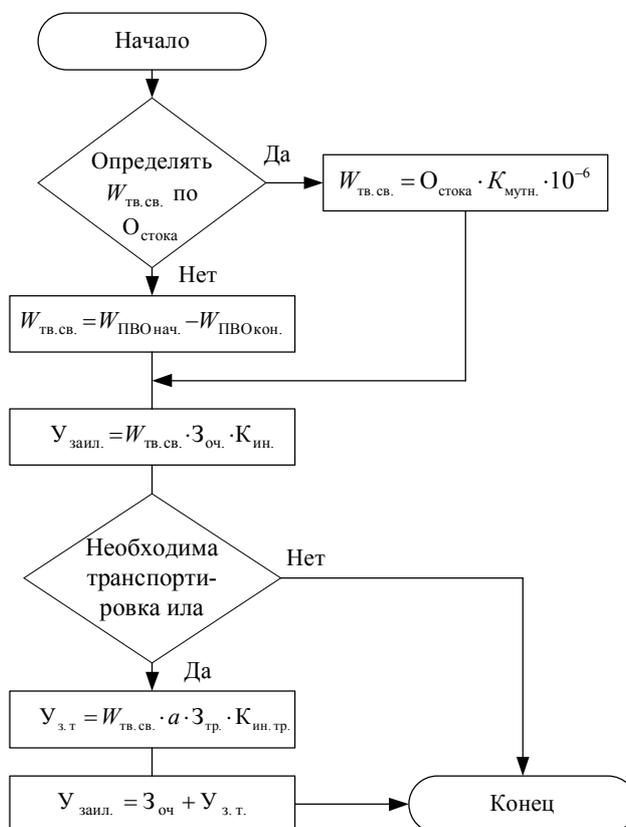


Рисунок 178 – Блок-схема алгоритма для модели расчета ущерба от заиления

На рисунке 178 приведены следующие обозначения:

$W_{\text{ТВ. св.}}$ – объем твердого стока, м^3 ;

$O_{\text{стока}}$ – объем поступившего в ПВО поверхностного стока, м^3 ;

$K_{\text{мутн.}}$ – показатель мутности стока, мг/дм^3 ;

$W_{\text{ПВО нач.}}$ – объем воды в ПВО в начале периода отсчета, м^3 ;

$W_{\text{ПВО кон.}}$ – объем воды в ПВО в конце периода отсчета, м^3 ;

$У_{\text{заил.}}$ – ущерб от заиления, тыс. руб.;

$Z_{\text{оч.}}$ – затраты на очистку водных объектов от ила и мелкозема, тыс. руб.;

$K_{\text{ин.}}$ – коэффициент индексации;

$У_{\text{з. т.}}$ – затраты на транспортировку ила, тыс. руб.;

a – объемная масса ила, т/м^3 ;

$Z_{\text{тр.}}$ – затраты на вывоз ила, тыс. руб./га;

$K_{\text{ин. тр.}}$ – коэффициент индексации для транспортировки ила.

8.3 Модель расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами по косвенным показателям

Исполняемый файл – «М_KP_TV.exe». Модель рассчитывает массу загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами. На рисунке 179 изображено окно программы данной модели.

Исходные данные

Площадь поля (участка), га:

Осадки в период таяния снега для данного поля (участка), мм: Запасы воды в снеге для данного поля (участка), мм:

Тип почвы поля (участка)

Группа типов почв:

Наименование почвы:

Уплотнённость поля:

Густота овражно-балочной сети, км/км^2 : Уклон поверхности почвы, град.:

Удаленность от водного объекта, км: Глубина промерзания почвы, см:

Водопроницаемости почвы в период стока, мм/мин: Влажность верхнего 0 - 30 см слоя почвы, %:

Агротехнические мероприятия:

Имеющиеся простейшие гидротехнические сооружения:

Наличие стокорегулирующих лесных полос

Расстояние между стокорегулирующими лесными полосами на сельхозугодьях, между полями (шириной 10-12 м), м:

Наличие прибалочных лесных полос (учитывается для полей прилегающих к оврагам, балкам и др. водотокам)

Ширина прибалочных лесных полос, м:

Выносимый биогенный элемент жидкой фазы:

Почвы нейтрального ряда Почвы кислого ряда

Тип биогенного элемента (азота) в почве:

Масса БЗ в почве по данным картограмм на момент их составления, кг/га :

Результаты расчёта

Концентрация загрязняющего вещества в диффузном стоке талых вод, поступивших с данного поля (участка), мг/дм^3 :

Объём стока талых вод с данного поля (участка), м^3 : Масса почвы, смытая с твердым стоком талыми водами, т/га:

Масса загрязняющего вещества в жидком стоке, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами, т:

Масса загрязняющего вещества в твёрдом стоке, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами, т:

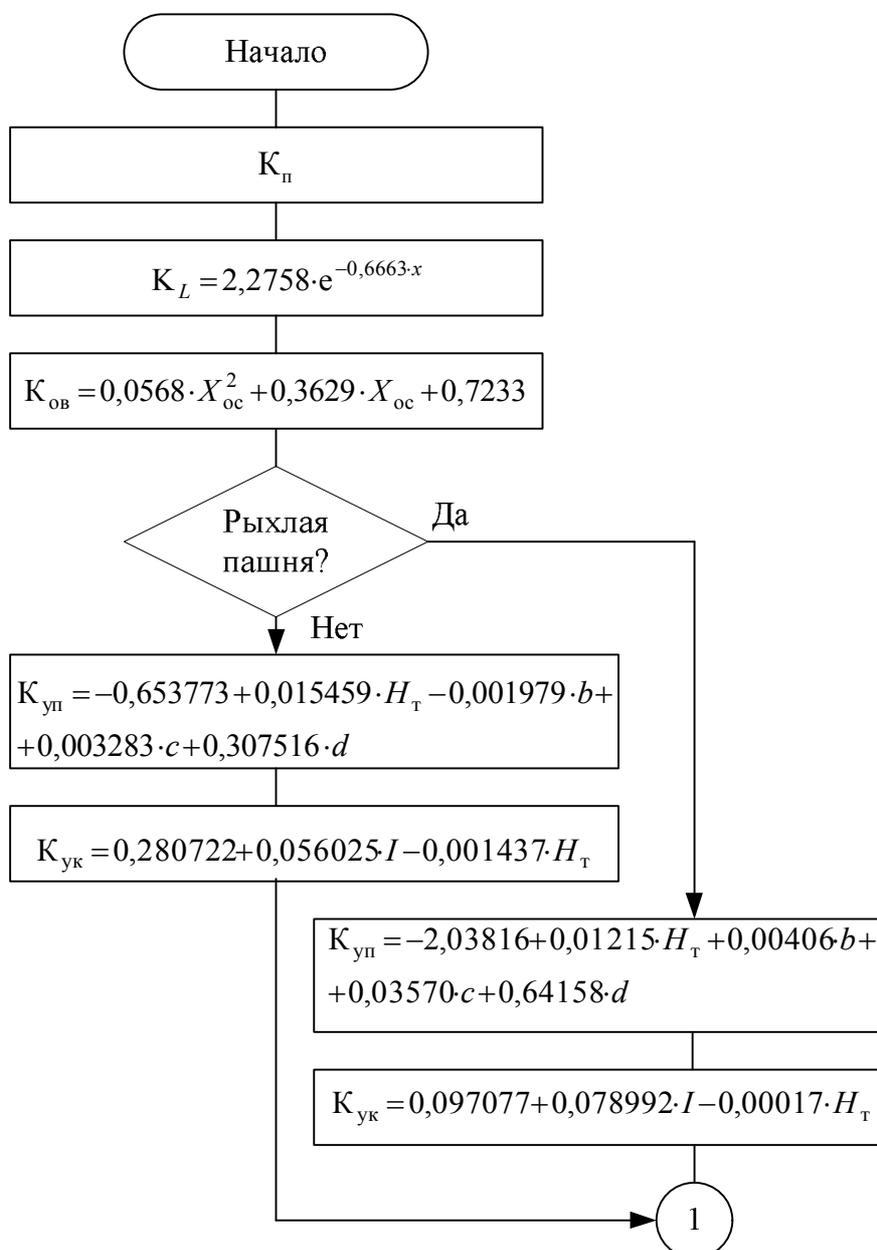
Масса загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами, т:

Рисунок 179 – Окно программы модели расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами

Для расчета необходимо во все поля ввести соответствующие данные, установить переключатели в соответствующем положении, выбрать из выпадающих списков нужные значения и нажать кнопку «Расчет». Результаты расчета будут отображены в полях:

- «Концентрация загрязняющего вещества в поверхностном стоке талых вод, поступивших с данного поля (участка), мг/дм³»;
- «Объем стока талых вод с данного поля (участка), м³»;
- «Масса почвы, смытая с твердым стоком талыми водами, т/га»;
- «Масса загрязняющего вещества в жидком стоке, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами, т»;
- «Масса загрязняющего вещества в твердом стоке, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами, т»;
- «Масса загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами, т».

Ниже представлена блок-схема алгоритма для данной модели расчета (рисунок 180).



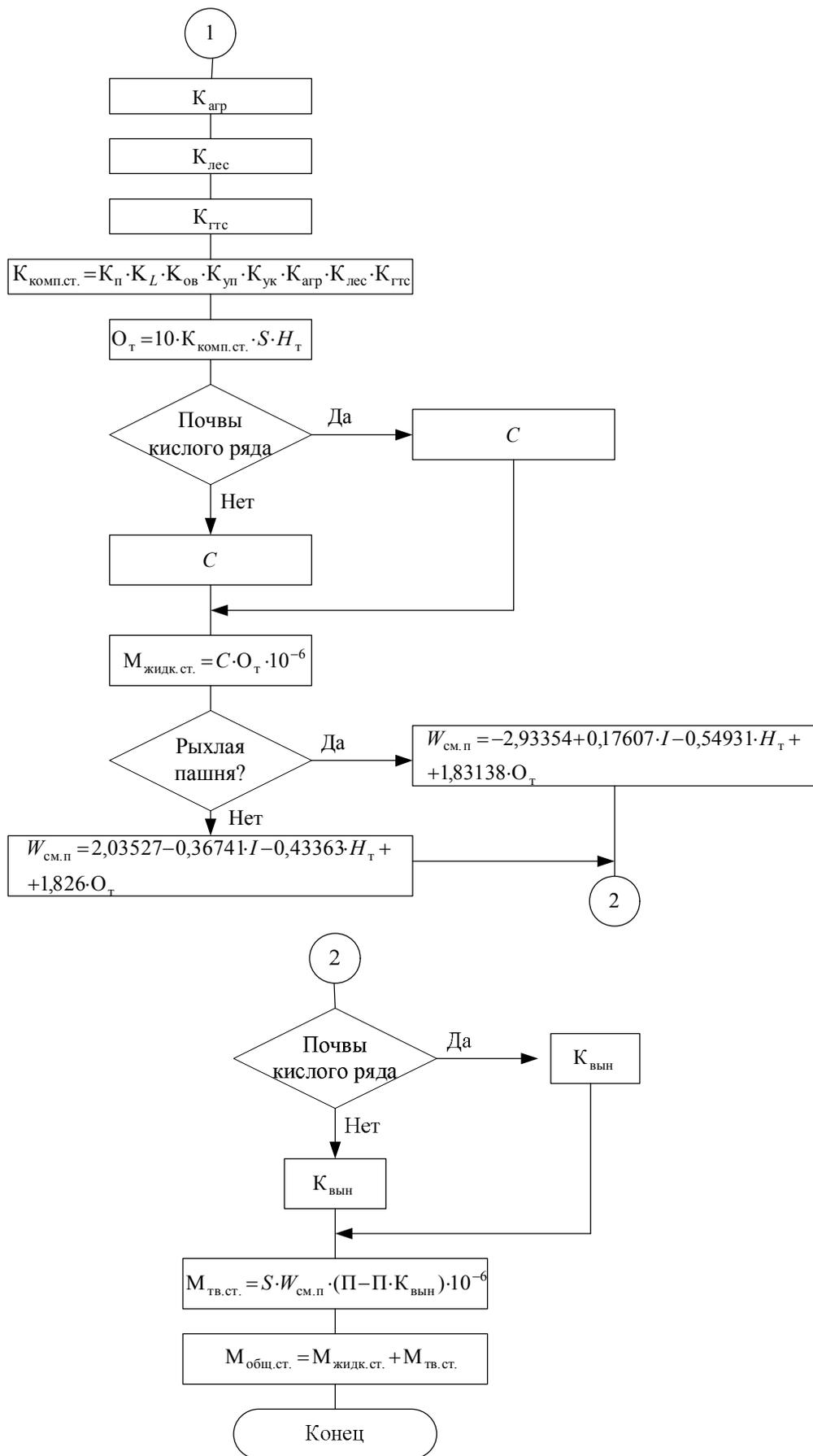


Рисунок 180 – Блок-схема алгоритма для модели расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами

На рисунке 180 приведены следующие обозначения:

$K_{п}$ – поправочный компенсационный коэффициент, учитывающий тип почв по гранулометрическому составу;

K_L – поправочный компенсационный коэффициент, учитывающий удаленность сельскохозяйственного угодья от водотока;

x – удаленность от водного объекта, км;

$K_{ов}$ – коэффициент, учитывающий насыщенность овражной сетью;

$X_{ос}$ – густота овражно-балочной сети, км/км²;

$K_{уп}$ – коэффициент, учитывающий условия стока талых вод по уплотненной пашне и зяби;

H_T – запасы воды в снеге + осадки в период таяния снега, определяются по данным метеорологических наблюдений ближайшей метеостанции, мм;

b – глубина промерзания почвы, см;

c – влажность верхнего 0–30 см слоя почвы, %;

d – водопроницаемость почвы в период стока, мм/мин;

$K_{ук}$ – поправочный коэффициент стока талых и дождевых вод, учитывающий уклон местности;

I – уклон поверхности почвы, град;

$K_{агр}$ – компенсационные агротехнические мероприятия;

$K_{лес}$ – коэффициент, учитывающий компенсационные лесомелиоративные мероприятия;

$K_{гтс}$ – коэффициент, учитывающий компенсационное влияние на сток протейших гидротехнических сооружений;

$K_{комп. ст.}$ – компенсационный коэффициент стока;

O_T – объем стока талых вод с поля (участка), мм;

S – площадь поля (участка), га;

C – концентрация загрязняющего вещества в поверхностном стоке талых вод, поступивших с данного поля (участка), мг/дм³;

$M_{жидк. ст.}$ – масса загрязняющего вещества в жидком стоке, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами, т;

$W_{см.п}$ – масса почвы, смытая с твердым стоком т/га;

$K_{вын}$ – коэффициент выноса биогенного элемента жидкой фазы поверхностного стока;

$M_{тв. ст.}$ – масса биогенного элемента, поступившего с твердым стоком, т;

Π – масса биогенного элемента в почве по данным картограмм на момент их составления, кг/га;

$M_{общ. ст.}$ – масса загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с талыми водами, т.

8.4 Модель расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами по косвенным показателям

Исполняемый файл – «M_KP_LV.exe». Модель рассчитывает массу загрязняющего вещества поступившего с данного поля (участка) с талыми водами. На рисунке 181 изображено окно программы данной модели.

Модель расчёта массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами

Исходные данные

Площадь поля (участка), га: Слой ливневых осадков для данного поля (участка), мм:

Тип почвы поля (участка)

Группа типов почв:

Наименование почвы:

Уплотнённость поля:

Величина проективного покрытия, %: Уклон поверхности почвы, град.:

Густота овражно-балочной сети, км/км²: Интенсивность осадков, мм/мин:

Удаленность от водного объекта, км:

Водопроницаемости почвы, мм/мин: Влажность верхнего 0 - 30 см слоя почвы, %:

Агротехнические мероприятия:

Имеющиеся простейшие гидротехнические сооружения:

Наличие стокорегулирующих лесных полос

Расстояние между стокорегулирующими лесными полосами на сельхозугодьях, между полями (шириной 10-12 м), м:

Наличие прибалочных лесных полос (учитывается для полей прилегающих к оврагам, балкам и др. водотокам)

Ширина прибалочных лесных полос, м: Выносимый биогенный элемент жидкой фазы:

Почвы нейтрального ряда Почвы кислого ряда Тип биогенного элемента (азота) в почве:

Масса БЗ в почве по данным картограмм на момент их составления, кг/га:

Результаты расчёта

Концентрация загрязняющего вещества в диффузном стоке дождевых вод, поступивших с данного поля (участка), мг/дм³:

Объём стока дождевых вод с данного поля (участка), м³: Масса почвы, смытая с твердым стоком дождевыми водами, т/га:

Масса загрязняющего вещества в жидком стоке, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами, т:

Масса загрязняющего вещества в твёрдом стоке, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами, т:

Масса загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами, т:

Рисунок 181 – Окно программы модели расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами

Для расчета необходимо во все поля с исходными данными ввести соответствующие данные, установить переключатели в соответствующем положении, выбрать из выпадающих списков нужные значения и нажать кнопку «Расчет». Результаты расчета будут отображены в полях:

- «Концентрация загрязняющего вещества в поверхностном стоке дождевых вод, поступивших с данного поля (участка), мг/дм³»;
- «Объём стока дождевых вод с данного поля (участка), м³»;
- «Масса почвы, смытая с твердым стоком дождевыми водами, т/га»;
- «Масса загрязняющего вещества в жидком стоке, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами, т»;
- «Масса загрязняющего вещества в твердом стоке, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами», т»;
- «Масса загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами, т».

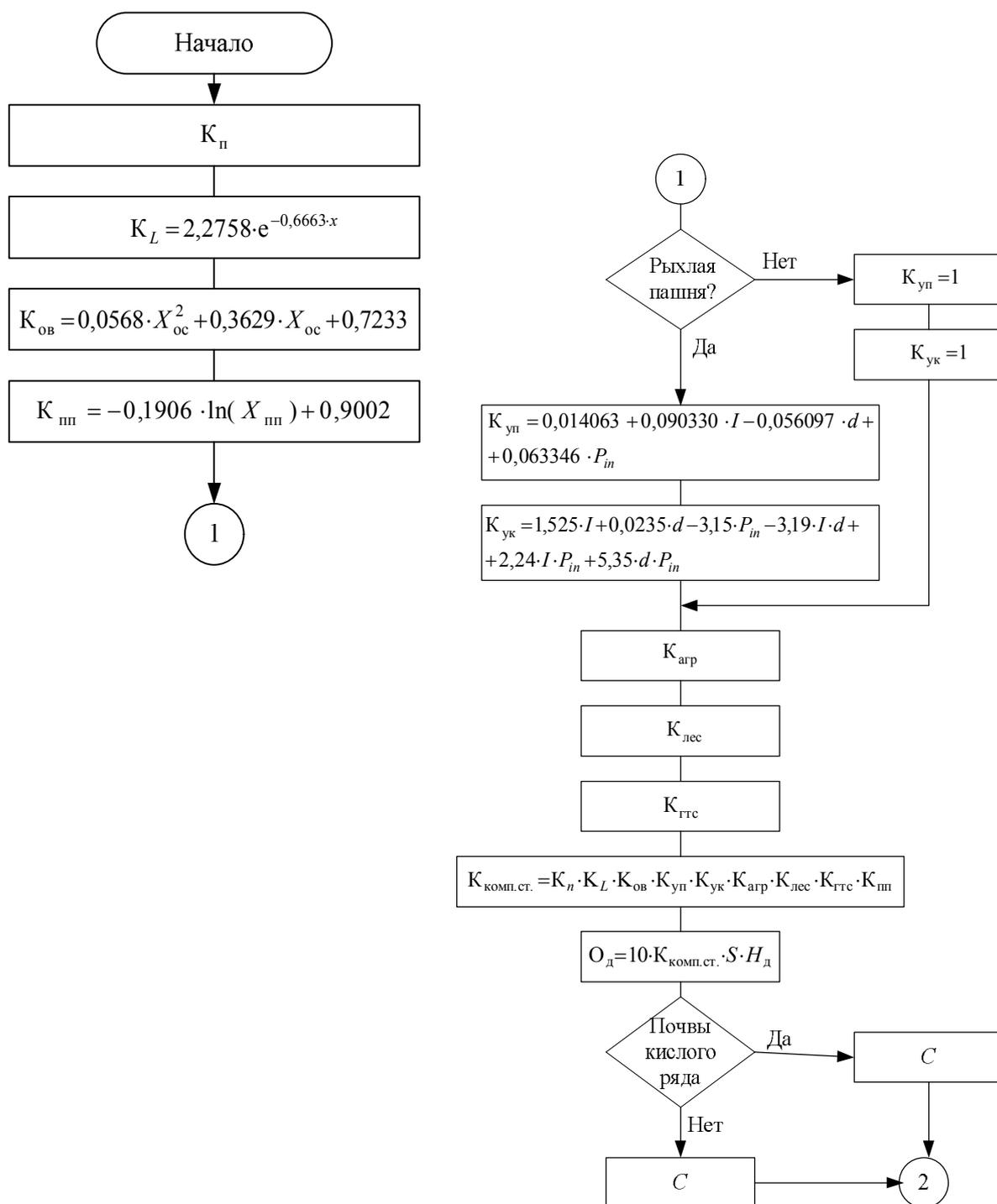
При выборе типа почвы сначала выбирается группа типов почв, а затем наименование почвы. При наличии стокорегулирующих лесных полос необходимо ввести и расстояние между стокорегулирующими лесными полосами (появляется соответствующее поле ввода), а при наличии прибалочных лесных полос необходи-

мо ввести и ширину прибалочных лесных полос (появляется соответствующее поле ввода).

Расчет проводится для одного конкретного биогенного вещества и для одного конкретного земельного участка или поля.

При выборе названия рассчитываемого биогенного вещества сначала выбирается название элемента, а затем его тип, если требуется. Тип для фосфора и калия не задается, и соответствующее типу окно выбора не отображается.

Ниже представлена блок-схема алгоритма для данной модели расчета (рисунок 182).



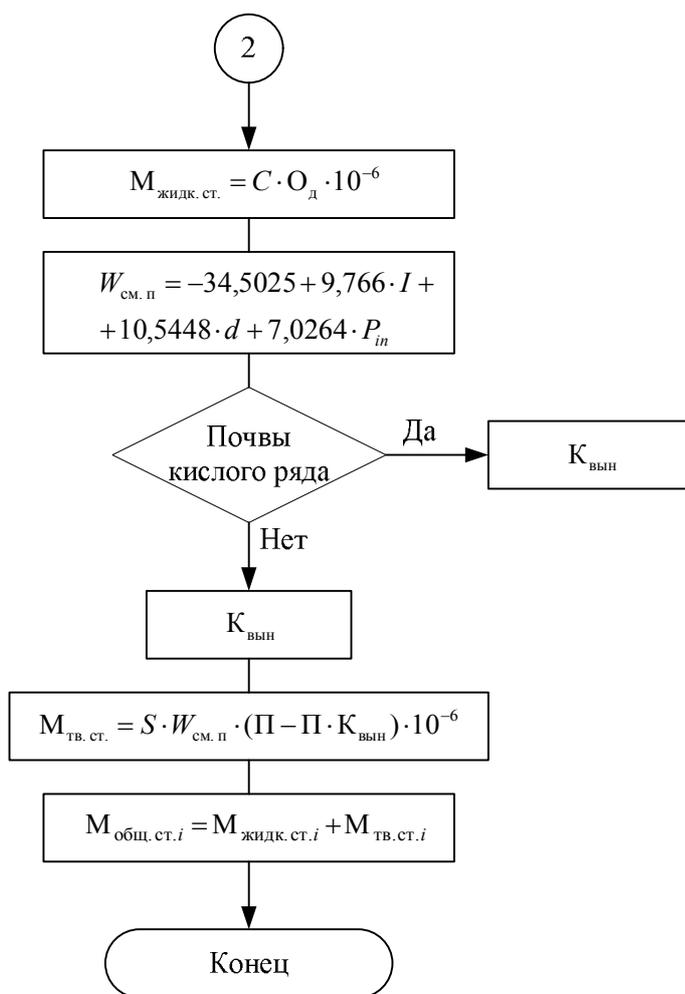


Рисунок 182 – Блок-схема алгоритма для данной модели расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами

На рисунке 182 приведены следующие обозначения:

K_p – поправочный компенсационный коэффициент, учитывающий тип почв по гранулометрическому составу;

K_L – поправочный компенсационный коэффициент, учитывающий удаленность сельскохозяйственного угодья от водотока;

x – удаленность от водного объекта, км;

$K_{ов}$ – коэффициент, учитывающий насыщенность овражной сетью;

$X_{ос}$ – густота овражно-балочной сети, км/км²;

$K_{пп}$ – коэффициент, учитывающий степень проективного покрытия поверхности почвы растениями, влияющего на сток дождевых вод;

$X_{пп}$ – проективное покрытие почвы растениями, %;

$K_{уп}$ – коэффициент, учитывающий условия стока дождевых вод;

$K_{ук}$ – поправочный коэффициент дождевых вод, учитывающий уклон местности;

I – уклон, град;

d – водопроницаемость почвы, мм/мин;

P_{in} – интенсивность осадков, мм/мин;

$K_{\text{агр}}$ – компенсационные агротехнические мероприятия;
 $K_{\text{лес}}$ – коэффициент, учитывающий компенсационные лесомелиоративные мероприятия;
 $K_{\text{гтс}}$ – коэффициент, учитывающий компенсационное влияние на сток протейших гидротехнических сооружений;
 $K_{\text{комп. ст.}}$ – компенсационный коэффициент стока;
 $O_{\text{д}}$ – объем стока дождевых вод с водосбора (участка), мм;
 S – площадь поля (участка), га;
 $H_{\text{д}}$ – запасы дождевой воды в снеге + осадки в период таяния снега, мм;
 C – концентрация загрязняющего вещества в поверхностном стоке дождевых вод, поступивших с данного поля (участка), мг/дм;
 $M_{\text{жидк. ст.}}$ – масса загрязняющего вещества в жидком стоке, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами, т;
 $W_{\text{см. п}}$ – масса почвы, смытая с твердым стоком т/га;
 $K_{\text{вын}}$ – коэффициент выноса биогенного элемента жидкой фазы поверхностного стока;
 $M_{\text{тв. ст.}}$ – масса биогенного элемента, поступившего с твердым стоком, т;
 Π – масса биогенного элемента в почве по данным картограмм на момент их составления, кг/га;
 $M_{\text{общ. ст.}}$ – масса загрязняющего вещества, поступившего с данного поля (участка) с дождевыми водами, т.

8.5 Модель расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка) по косвенным показателям

Исполняемый файл – «M_KP_MV.exe». Модель рассчитывает массу загрязняющего вещества поступившего с водами мелиорированного поля (участка).

На рисунке 183 изображено окно программы данной модели.

Для расчета необходимо во все поля с исходными данными ввести соответствующие данные, установить переключатели в соответствующем положении, выбрать из выпадающих списков нужные значения и нажать кнопку «Расчет». Результаты расчета будут отображены в полях:

- «Объем стока вод с данного мелиорированного поля (участка), т»;
- «Масса загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка), т».
- «Масса почвы, смытая с мелиорированного поля (участка) с твердым стоком, т/га»;
- «Масса загрязняющего вещества в твердом стоке, поступившего с мелиорированного поля (участка), т».

Данная модель рассчитывает массу загрязняющего вещества, поступившего с водами, как с орошаемого поля, так и при наличии осушения.

Для расчета массы загрязняющего вещества при орошении необходимо переключатель «Вид мелиорации» переключить в положение «Орошение». При этом вводятся соответствующие данные.

Для расчета массы загрязняющего вещества при осушении необходимо переключатель «Вид мелиорации» переключить в положение «Осушение». При этом вводятся соответствующие данные (рисунок 184).

Модель расчёта массы загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (...)

Исходные данные

Площадь поля (участка), га:

Концентрация загрязняющего вещества в воде, мг/дм³:

Вид мелиорации:
 Орошение Осушение

Почвы нейтрального ряда Почвы кислого ряда

Просительная норма, м³/га:

Выносимый биогенный элемент жидкой фазы:

Технология орошения соблюдается
 Технология орошения нарушается

Тип биогенного элемента (азота) в почве:

Масса БЗ в почве по данным картограмм, кг/га:

Объём жидкого стока вод с данного мелиорированного поля (участка), т:

Объёмная масса твёрдого стока, т/м³:

Результаты расчёта

Объём общего стока вод с данного мелиорированного поля (участка), т:

Масса почвы, смытая с мелиорированного поля (участка) с твёрдым стоком, т/га:

Масса загрязняющего вещества в твёрдом стоке, поступившего с мелиорированного поля (участка), т:

Масса загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка), т:

Рисунок 183 – Окно программы модели расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка) при орошении

Модель расчёта массы загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (...)

Исходные данные

Площадь поля (участка), га:

Концентрация загрязняющего вещества в воде, мг/дм³:

Вид мелиорации:
 Орошение Осушение

Почвы нейтрального ряда Почвы кислого ряда

Осадки за учитываемый период, мм:

Выносимый биогенный элемент жидкой фазы:

Зимний период
 Летний период

Тип биогенного элемента (азота) в почве:

Масса БЗ в почве по данным картограмм, кг/га:

Объём жидкого стока вод с данного мелиорированного поля (участка), т:

Объёмная масса твёрдого стока, т/м³:

Результаты расчёта

Объём общего стока вод с данного мелиорированного поля (участка), т:

Масса почвы, смытая с мелиорированного поля (участка) с твёрдым стоком, т/га:

Масса загрязняющего вещества в твёрдом стоке, поступившего с мелиорированного поля (участка), т:

Масса загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка), т:

Рисунок 184 – Окно программы модели расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка) при осушении

Ниже представлена блок-схема алгоритма для данной модели расчета (рисунок 185).

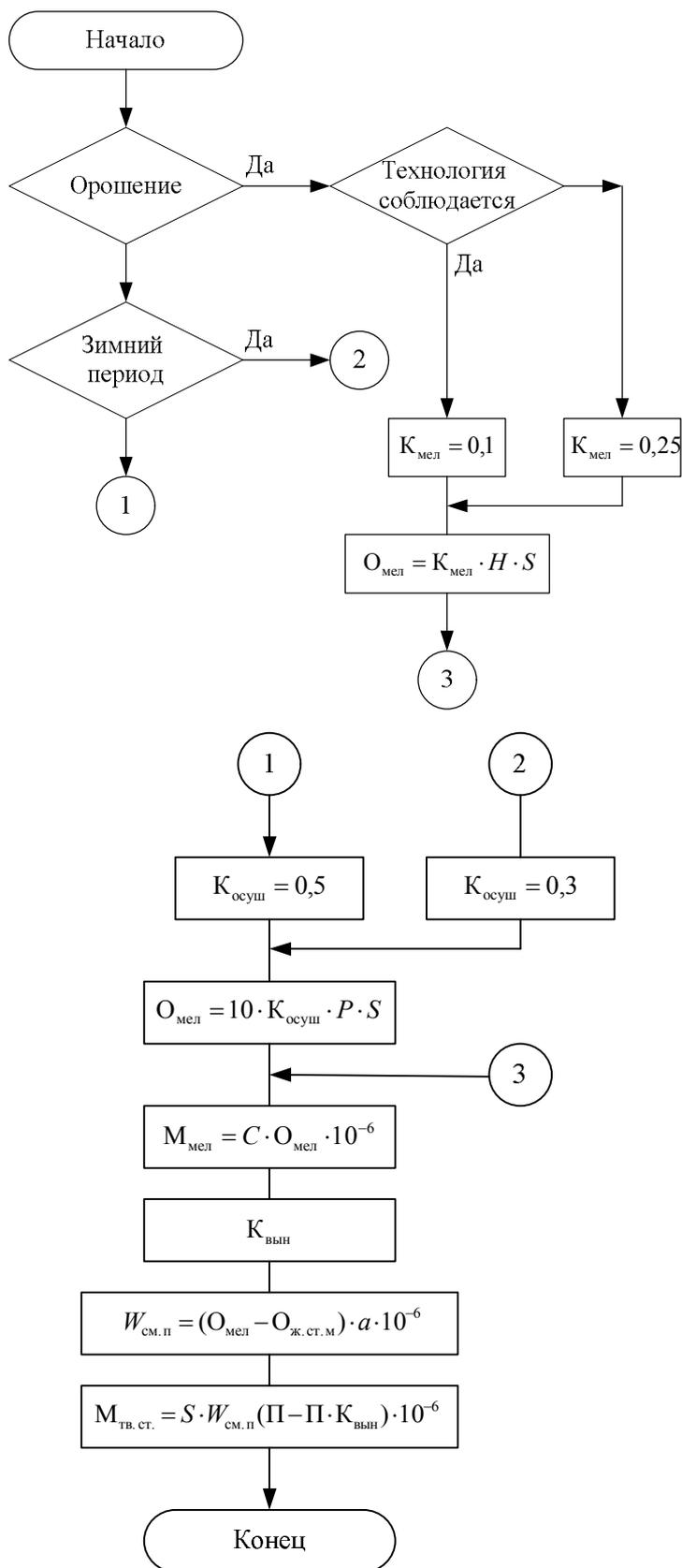


Рисунок 185 – Блок-схема алгоритма для модели расчета массы загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля

На рисунке 185 приведены следующие обозначения:

$K_{\text{мел}}$ – коэффициент стока с мелиорируемых земель;

$O_{\text{мел}}$ – объем стока оросительных вод, м^3 ;

H – оросительная норма, $\text{м}^3/\text{га}$;

S – площадь поля (участка), га;

$K_{\text{осуш}}$ – коэффициент стока с осушаемых земель;

P – осадки за учитываемый период, мм;

$M_{\text{мел}}$ – масса загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка), т;

C – концентрация загрязняющего вещества, поступившего с водами мелиорированного поля (участка), $\text{мг}/\text{дм}^3$;

$K_{\text{вын}}$ – коэффициент выноса биогенного элемента жидкой фазы поверхностного стока;

$W_{\text{см. п}}$ – масса почвы, смытая с твердым стоком, т/га;

$O_{\text{ж. ст. м}}$ – объем жидкого стока вод с мелиорированного поля (участка), т;

a – объемная масса, $\text{т}/\text{м}^3$;

$M_{\text{тв. ст.}}$ – масса загрязняющего вещества, поступившего с твердым стоком, т.

Π – масса биогенного элемента в почве по данным картограмм, кг/га.

8.6 Модель расчета массы биогенного вещества в почве поля (участка) хозяйствующего субъекта по косвенным показателям

Исполняемый файл – «V_Biogen.exe». Модель рассчитывает массу биогенного вещества в почве поля (участка) хозяйствующего субъекта

На рисунке 186 изображено окно программы данной модели.

Модель расчёта массы биогенного вещества в почве поля (участка) хозяйствующего субъекта

Исходные данные

Площадь поля (участка), га: Рассчитываемое биогенное вещество:

Масса биогенного элемента в почве по данным картограмм на момент их составления, т/га:

Вид вносимого удобрения: Уровень технологии внесения удобрений:

Физическая масса вносимого удобрения на поле (участке), т/га:

Процентное содержание биогенного элемента во вносимом удобрении, %:

Имеет место выпас скота на данном участке

Численность животных при выпасе скота, голов: Период выпаса скота, сут:

Производственные группы КРС:

Выращиваемая на поле (участке) сельскохозяйственная культура:

Фактическая урожайность сельскохозяйственной культуры, т/га:

Результаты расчёта

Масса биогенного вещества, внесенного с удобрениями, т/га:

Масса биогенного вещества, внесенного при выпасе скота, т/га:

Вынос биогенного элемента с урожаем сельскохозяйственных культур, т/га:

Масса биогенного элемента в почве на момент проявления диффузного стока, с учётом внесённых удобрений и выноса элементов культурами, кг/га:

Рисунок 186 – Окно программы модели расчета массы биогенного вещества в почве поля (участка) хозяйствующего субъекта

Для расчета необходимо во все поля с исходными данными ввести соответствующие данные, установить переключатели в соответствующем положении, вы-

брать из выпадающих списков нужные значения и нажать кнопку «Расчет». Результаты расчета будут отображены в полях;

- «Масса биогенного вещества, внесенного с удобрениями, т/га»;
- «Масса биогенного вещества, внесенного при выпасе скота, т/га»;
- «Вынос биогенного элемента с урожаем сельскохозяйственных культур, т/га»;
- «Масса биогенного элемента в почве на момент проявления поверхностного стока с учетом внесенных удобрений и выноса элементов культурами, кг/га».

Рассчитывается внесение либо минеральных удобрений, либо органических. В случае выпаса скота, на данной территории учитывается и внесение биогенного вещества и вместе с экскрементами животных.

Расчет проводится для одного выбранного биогенного вещества.

Ниже представлена блок-схема алгоритма для данной модели расчета (рисунок 187).

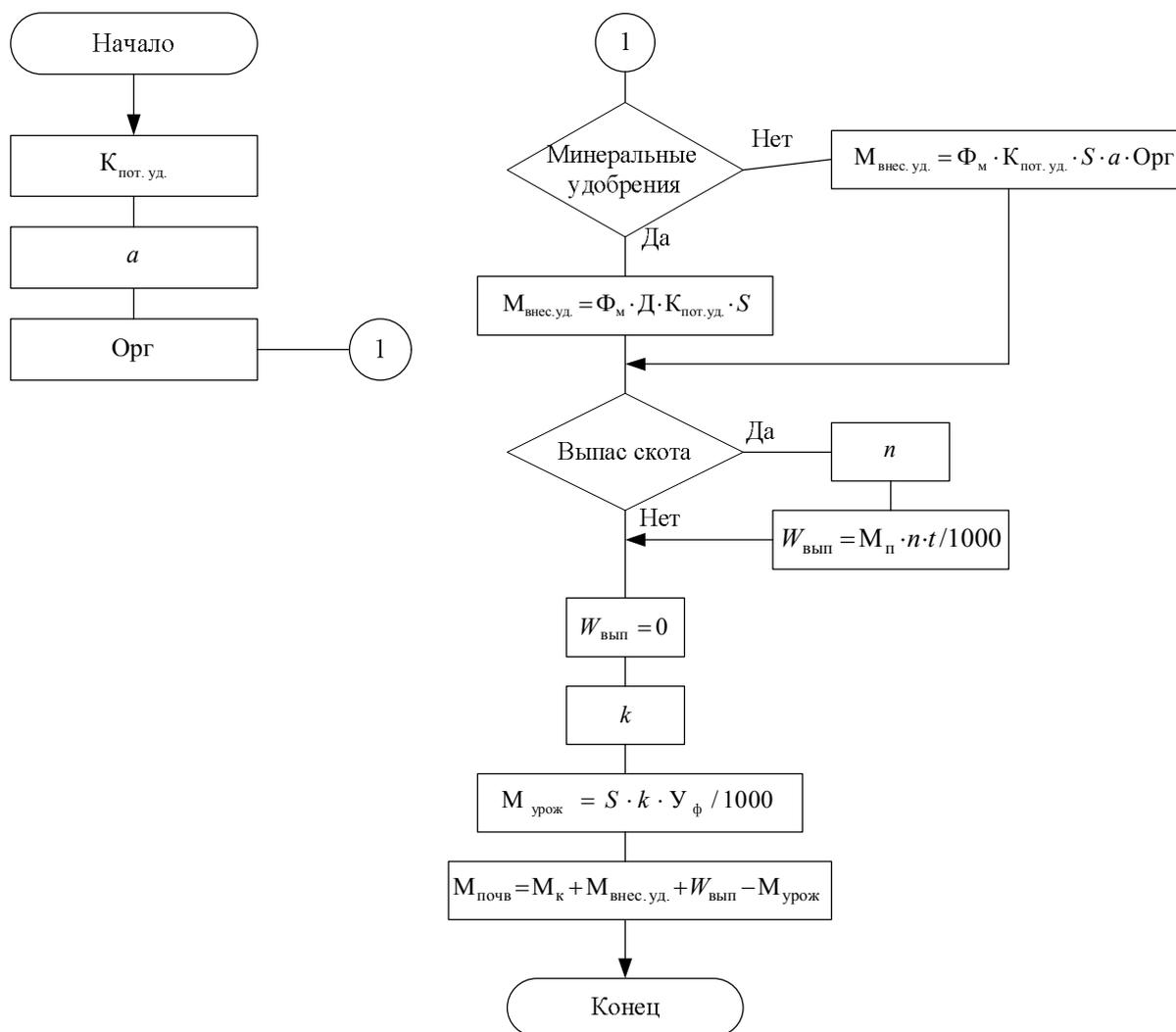


Рисунок 187 – Блок-схема алгоритма для данной модели расчета массы биогенного вещества в почве поля (участка) хозяйствующего субъекта, по косвенным показателям

На рисунке 187 приведены следующие обозначения:

$K_{\text{пот. уд.}}$ – коэффициент потерь удобрений после внесения;

a – содержание биогенного элемента в навозе или помете в долях от выхода навоза (помета), кг д. в./т;

Орг – количество биогенного элемента, задерживаемого почвой при внесении 1 тонны органических удобрений, кг д. в./т;

$M_{\text{внес. уд.}}$ – масса биогенного вещества, внесенного с минеральными и органическими удобрениями, кг д. в. /га;

Φ_m – физическая масса вносимого удобрения на поле (участке), кг/га;

S – площадь поля на которое внесли удобрения, га;

D – процентное содержание биогенного элемента во вносимом удобрении, % д. в.;

n – выход экскрементов от одного животного, кг/сут;

$W_{\text{вып}}$ – среднее поступление органики при выпасе на пастбище, т/га;

$M_{\text{п}}$ – численность животных при выпасе на пастбище, голов;

t – период выпаса (время выпаса в часах в сутки, умноженное на количество суток), сут;

k – вынос биогенного вещества с урожаем сельскохозяйственной культуры, кг/т;

$M_{\text{урож}}$ – урожайность сельскохозяйственных культур, т/га;

$U_{\text{ф}}$ – фактическая урожайность сельскохозяйственной культуры, т/га;

$M_{\text{почв}}$ – масса биогенного элемент в почве на момент проявления поверхностного стока, с учетом внесенных удобрений и выноса элементов культурами, кг д. в./га;

M_k – масса биогенного элемента в почве по данным картограмм на момент их составления, кг д. в./га.

9 МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД В БАССЕЙНАХ РЕК ВОЛГА И ДОН

9.1 Общие положения

Настоящая Методика прогнозирования поверхностного стока талых вод в бассейнах рек Волга и Дон (далее – Методика) позволяет делать прогноз величины (объема) поверхностного стока талых вод как для малых водосборов (лощины, балки), так и для бассейнов крупных рек.

Положения Методики обосновываются на использовании закона лимитирующих факторов стока талых вод, открытого в результате анализа 40–50-летних материалов исследований в различных природных зонах европейской части России.

Ведущими факторами, влияющими на формирование стока, являются снегозапасы, глубина промерзания и влажность верхнего (0–50 см) слоя почвы.

Суть закона лимитирующих факторов стока состоит в том, что при некотором (лимитирующем) значении одного из них сток не формируется независимо от уровня других. Если почва талая или промерзла на небольшую (до 50 см) глубину, то поверхностный сток на сельскохозяйственных землях и лесных угодьях не формируется. Он может формироваться в городах и других населенных пунктах, на дорогах, асфальтированных и укатанных площадках и др.

Если запасы влаги в почве (в слое 0–50 см) меньше 70–120 мм в зависимости от природной зоны, то сток тоже не формируется независимо от глубины промерзания и количества воды в снеге, т. е. лимитирующим фактором стока является увлажнение почвы. При снегозапасах, не превышающих объем микрорельефа поверхности, сток также не формируется независимо от уровня увлажнения и глубины промерзания почвы.

При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах воды в ней больше 70–120 мм и снегозапасах, превышающих емкость микрорельефа, сток формируется на всех угодьях и величина (объем) его зависит только от запасов воды в снеге и почве.

Для малых водосборов прогноз стока талых вод дается на основе учета ведущих природных факторов, влияющих на его формирование и соотношения площадей, находящихся под зябью и уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, залежь и др.).

Для расчета стока на бассейнах рек также учитываются эти природные факторы, а соотношение площадей под зябью и уплотненной пашней определяется по регионам в пределах водосборов рек.

Положения настоящей Методики основаны на оригинальном подходе и по ним можно давать высокоточный (80–100 %) прогноз величины поверхностного стока талых вод. Если почва талая, то точность прогноза 100 %, а при глубине ее промерзания свыше 50 см точность прогноза зависит от точности определения запасов воды в снеге и почве и составляет 80–90 %.

9.2 Нормативные ссылки

При разработке Методики учтены основные положения, изложенные в соответствующих законодательных, нормативно-правовых и методических документах, действующих в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также рационального использования и охраны природных ресурсов:

- ГОСТ 26967-86 (СТ СЭВ 5183-85) Гидромелиорация. Термины и определения;
- ГОСТ 16256-80 Земледелие. Термины и определения;
- ГОСТ 17.4.2.03-86 Охрана природы. Почвы. Паспорт почв;
- ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов;
- ВСН 33-2.1.10-90 Гидромелиоративные системы и сооружения. Инженерно-гидрометеорологические изыскания;
- СН 435-72 Указания по определению расчетных гидрологических характеристик;
- Закон РСФСР Об охране окружающей природной среды от 02 июня 1993 г. № 5076-1;
- О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ;
- О землеустройстве: Федеральный закон от 18 июня 2001 г. № 78-ФЗ;
- О мелиорации земель: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ;
- Об обороте земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 24 июля 2002 г. № 101-ФЗ;
- Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ;
- О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ;
- О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ;
- Об экологической экспертизе: Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ;
- Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель: утв. Минсельхозом РФ, Депмелиоводхозом от 29.07.03 № 18;
- Концепция государственной политики в сфере использования, восстановления и охраны водных объектов в 1999–2005 годах. – М., 2000.

9.3 Термины и определения

Влагоемкость почвы – величина, количественно характеризующая способность почвы удерживать влагу.

Водная эрозия почв – процессы разрушения верхних наиболее плодородных горизонтов почв и подстилающих пород талыми и дождевыми водами.

Воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения – сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения посредством проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных, противоэрозионных и иных мероприятий.

Запас влаги в почве – абсолютное количество влаги, содержащееся в определенном слое почвы.

Земельные угодья – земли, систематически используемые или пригодные к использованию для конкретных хозяйственных целей и отличающиеся по природно-историческим признакам.

Земли сельскохозяйственного назначения – земли, предназначенные в использование для нужд сельского хозяйства или предназначенные для этих целей.

Земля – важнейшая часть окружающей природной среды, характеризующаяся пространством, рельефом, климатом, почвенным покровом, растительностью, недрами, водами, являющаяся главным средством производства в сельском и лесном

хозяйстве, а также пространственным базисом для размещения предприятий и организаций всех отраслей народного хозяйства.

Коэффициент стока – отношение величины стока к запасам воды в снеге перед снеготаянием и количества осадков, выпавших за время снеготаяния.

Мелиоративный фонд – земли, пригодные для хозяйственного использования и нуждающиеся в мелиорации.

Мелиорируемые земли – земли, на которых осуществляется мелиорация.

Модуль стока – средняя величина стока с поверхности речного бассейна в единицу времени, выражается в л/с·км².

Обеспеченность стока – частота появления стока расчетной величины в течение длительного промежутка времени.

Поверхностный сток – передвижение свободной гравитационной влаги под влиянием гидравлического напора по поверхности почвы.

Площадь водосборная – территория, с которой стекают поверхностные или подземные воды к водным артериям – рекам, озерам, а также к бессточным впадинам.

Пункт водомерный – устройство, предназначенное для производства гидрологических наблюдений.

Санитарно-эпидемиологическое благополучие населения – состояние здоровья населения, среды обитания человека, при котором отсутствует вредное воздействие факторов среды обитания на человека и обеспечиваются благоприятные условия его жизнедеятельности.

Сельскохозяйственное угодье – земельное угодье, систематически используемое для получения сельскохозяйственной продукции.

9.4 Исходные данные

Для расчета величины поверхностного стока талых вод необходимы следующие характеристики:

- запасы воды в снеге, мм;
- глубина промерзания почвы, см;
- запасы воды в слое почвы 0–50 см, мм;
- общая площадь водосбора, га (км²);
- площадь водосбора под зябью, га (км²);
- площадь водосбора под уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, залежь), га (км²).

Запасы воды в снеге определяются по данным наблюдений Гидрометслужбы на метеостанциях и постах, на основе аэрокосмического мониторинга и уточняются в результате проведения снегомерных съемок на водосборах.

Формирование снежного покрова происходит под влиянием таких факторов, как ветер, расчлененность территории, экспозиция, крутизна и протяженность склонов, вид угодий, наличие защитных лесных насаждений и др. Снегомерные съемки, проводимые на водосборах, имеют целью определить влагозапасы в снеге на всех водосборах, установить закономерность и особенности снегораспределения на разных угодьях в зависимости от рельефа и экспозиции склонов, выявить снегонакопительную и снегораспределительную роль защитных лесных полос и других насаждений.

На водосборах проводят разовые снегомерные съемки за 20–30 дней до снеготаяния по заранее намеченным постоянным маршрутам, которые наносят на план водосбора, нумеруются и закрепляются в натуре.

На простых водосборах с одним видом угодий (выгон, пашня, сад, лес и др.)

намечается три маршрута поперек склона на одном расстоянии друг от друга, причем суммарное расстояние между крайними маршрутами в верхней и нижней границами водосбора должно составлять $2/3$ расстояния между соседними маршрутами. Они пересекают водосбор от одного до другого водораздела. Здесь преобладают маршруты прямолинейного направления. Общая протяженность всех маршрутов близка к 3–5-кратной средней ширине водосбора. На больших комплексных опытных водосборах число маршрутов может достигать до 5–6, причем они должны располагаться как поперек водосбора, так и вдоль него с охватом всех основных угодий, лесных полос и других элементов, сильно влияющих на снегораспределение. Измерения в маршрутах проводятся в точках, расположенных через 5–25 м. Плотность снега на каждом угодии измеряется весовым снегомером ВС-43 в пяти точках и, кроме того, в пунктах с характерным залеганием снега. На водосборе с лесополосами снегомерные маршруты должны проходить перпендикулярно к направлениям полосы.

Средний запас воды в снеге (мм) на каждом виде угодий определяется путем перемножения его средней высоты (в мм) и средней плотности (в г/см^3). На всем комплексном водосборе запас воды в снеге X определяется как средневзвешенная величина через площадь отдельных угодий S_i и всю площадь S :

$$X = \frac{\sum X \cdot S_i}{S}. \quad (101)$$

Осадки, выпавшие в период после проведения снегомерной съемки до снеготаяния, добавляются к запасам воды в снеге.

Глубина промерзания почвы определяется в те же сроки, что и снегозапасы. При этом применяется копка шурфов в мерзлой земле, бурение и другие способы. Основным признаком мерзлой почвы является наличие в ней кристалликов льда и механическое сопротивление при разломе и разминании кусочков почвы и ее влажность. Динамику промерзания и оттаивания почвы изучают также при помощи мерзлотомера Данилина МД-2, проводя наблюдения три раза в месяц. Одновременно производят замеры высоты снежного покрова. Следует иметь в виду, что МД-2 фактически показывает глубину проникновения отрицательных температур и поэтому преувеличивает глубину промерзания почвы, а в весенний период занижает скорость ее оттаивания снизу и сверху. Поэтому указанный метод определения промерзания почвы нужно применять в сочетании с другими методами.

Для оценки глубины промерзания почвы можно использовать данные Гидрометслужбы, но только те, которые определялись по кристалликам льда непосредственным бурением почвы на различных видах угодий водосборов. Почва бывает талая или глубоко промерзает обычно на больших территориях, охватывающих сотни и тысячи квадратных километров. Важно определить границу между талой и глубоко промерзшей почвой, если она не выходит за пределы исследуемого водосбора.

Влажность мерзлой почвы определяется в 3-кратной повторности до глубины 50 см. Образцы берутся со следующих глубин: 0, 10, 20, 30, 40 и 50 см. Влажность почвы выражается в процентах, а запасы влаги – в миллиметрах послойно и суммарно для всей толщи. Запасы влаги вычисляют по формуле Н. А. Качинского:

$$W = \frac{M \cdot V \cdot K}{10}, \quad (102)$$

где W – запасы влаги в почве, мм;

M – мощность слоя почвы, см;

V – общая масса почвы, г/см^3 ;

K – влажность данного слоя почвы, %.

Объемная масса почвы определяется путем отбора образцов с ненарушенным сложением с различных глубин (0, 10, 20, 30, 40, 50 см) при помощи прибора Качинского в 3-кратной повторности с последующим высушиванием и взвешиванием.

Объемная масса влажной мерзлой почвы меньше, чем талой и при определении запасов влаги в мерзлой почве, исходя из ее объемного веса, найденного в теплый период, получают преувеличенные данные, поэтому важно знать объемную массу мерзлой почвы. Учеными ВНИАЛМИ рекомендуется пользоваться следующим методом при определении объемной массы мерзлой почвы. Кусок мерзлой почвы опускают в алюминиевый стакан (бюксу) с известным объемом, куда затем насыпают пшено и заполняют им пустоты. После этого избыток пшена снимают со стакана линейкой, объем пшена в бюксе измеряют мензуркой. При разности объемов алюминиевого стакана и всыпанного пшена определяют объем куса мерзлой земли. Указанная работа проводится в поле при морозной погоде, в тени. Затем этот кусок высушивают до абсолютно сухого состояния и взвешивают, после чего вычисляют его объемную массу при данной влажности.

Если почва на водосборе талая или промерзла на глубину до 50 см, то запасы воды в почве можно не определять.

Площадь малых водосборов определяется по топографическим планам масштаба 1:10000–1:25000, а бассейнов рек 1:50000–1:1000000.

Площадь территории, занятой уплотненной пашней и зябью на малых водосборах, определяется на основе статистических данных муниципальных образований, а для бассейнов рек – региональных, а затем они суммируются по водосбору реки.

9.5 Методика прогноза величины (объема) поверхностного стока талых вод на водосборных бассейнах

Сначала анализируются данные по глубине промерзания почвы на водосборе. Если почва талая или промерзла на глубину до 50 см, то поверхностный сток талых вод на сельскохозяйственных и лесных угодьях не сформируется. Если почва промерзла на глубину свыше 50 см, то сток сформируется обязательно, и величина его будет зависеть от запасов воды в снеге и почве (в слое 0–50 см). Уровень глубины промерзания почвы свыше лимитирующего на величину стока не влияет.

Затем анализируются данные по запасам влаги в верхнем (0–50 см) слое мерзлой почвы. Если они в лесостепной зоне ниже 120 мм, а в степной и полупустынной зонах ниже 70 мм, то сток не формируется.

Определяются запасы воды в снеге. Если они меньше объема микрорельефа поверхности водосбора, то сток не формируется.

При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. при глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах влаги в слое почвы 0–50 см выше 70–120 см (по зонам), а в снеге – выше емкости микрорельефа, сток сформируется и величина (объем) его будет зависеть только от запасов воды в снеге и почве.

При этих условиях величина поверхностного стока талых вод с водосбора рассчитывается по выражению:

$$y = \left(\sum_1^n y_i \cdot S_i / \sum_1^n S_i \right) - \Pi_{\text{пэм}}, \quad (103)$$

где y – величина поверхностного стока с водосбора, мм;

y_i – сток с i -го агрофона, мм (рассчитывают по уравнению $y_i = a + b_1 \cdot W_{\text{п}} + b_2 \cdot W_{\text{с}}$,

в котором $W_{\text{п}}$ – запасы воды в почве, мм; $W_{\text{с}}$ – запасы воды в снеге, мм; a, b_1, b_2 – коэффициенты, изменяющиеся в зависимости от вида пашни и типа почв:

- на зяби:

1 серая лесная почва $a = -161, b_1 = 0,93, b_2 = 0,38$;

2 типичный чернозем $a = -50, b_1 = 0,25, b_2 = 0,25$;

3 обыкновенный чернозем $a = -53, b_1 = 0,51, b_2 = 0,04$;

4 каштановая $a = -27, b_1 = 0,38, b_2 = 0,37$;

5 светло-каштановая $a = -11, b_1 = 0,23, b_2 = 0,37$;

- на уплотненной пашне:

1 серая лесная почва $a = -11, b_1 = 0,12, b_2 = 0,33$;

2 типичный чернозем $a = -116, b_1 = 0,71, b_2 = 0,41$;

3 обыкновенный чернозем $a = -24, b_1 = 0,17, b_2 = 0,40$;

4 каштановая $a = -4, b_1 = 0,19, b_2 = 1,14$;

5 светло-каштановая $a = -20, b_1 = 0,29, b_2 = 0,13$);

S_i – площадь i -го агрофона, га;

$\Pi_{\text{пэм}}$ – стокорегулирующий эффект от применения системы противоэрозионных мероприятий: противоэрозионная организация территория, лесомелиоративные, агротехнические и гидротехнические приемы, мм (этот параметр применяется только в том случае, если на водосборе осуществлена полная система мероприятий).

В связи с тем, что в настоящее время нет экспериментальных данных, характеризующих влияние природных факторов на формирование поверхностного стока в лесной зоне на дерново-подзолистых и других почвах, для расчета стока в бассейнах верхней Волги, Вятки и Камы можно использовать коэффициенты a, b_1 и b_2 , рекомендуемые для серых лесных почв лесостепной зоны. Это допущение приведет к снижению точности, но не в сильной степени. В будущем необходимо провести экспериментальные исследования в этой зоне и получить научно обоснованные коэффициенты.

9.6 Область применения и практическая реализация разработки

Настоящая Методика, включающая обоснование состава природных факторов поверхностного стока талых вод, будет применяться для составления прогноза величины поверхностного стока талых вод с целью предотвращения чрезвычайных ситуаций, возникающих при затоплении сельскохозяйственных территорий проектными, сельскохозяйственными и водохозяйственными организациями.

Для практической реализации Методики по прогнозированию поверхностного стока в бассейнах Волги и Дона необходимо проводить мониторинг за природными факторами, влияющими на формирование стока. В настоящее время проводятся наблюдения за снегозапасами, глубиной промерзания и влажностью почвы на метеостанциях и постах Гидрометслужбы, в ряде научно-исследовательских институтов (ВНИАЛМИ, ВНИИЗиЗПЭ, ГГИ, НИИСХ ЦЧП и др.).

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ВОДНЫМ ОБЪЕКТАМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ С ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

10.1 Назначение и область применения

Методические указания по определению ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного назначения (далее – Методические указания), разработаны в соответствии с Водным кодексом Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ и в развитие положений, утвержденной приказом МПР РФ от 13 апреля 2009 г. № 87 Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства (далее – Методика) и предназначены для исчисления размера вреда (ущерба), причиненного водным объектам в результате загрязнения их веществами, поступившими с поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования и для разграничения ответственности в случае нанесения такого ущерба несколькими землепользователями, находящимися на одном водосборе.

Порядок определения размера ущерба, наносимого поверхностным водным объектам (ПВО) поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования, устанавливает правила расчета платы в возмещении ущерба, причиненного загрязнением ПВО биогенными, химическими и другими веществами, а также смывом почвы и разграничения ответственности хозяйствующих субъектов, виновных в загрязнении.

Настоящие Методические указания применяются в случаях исчисления размера ущерба, причиненного водным объектам от сбросов вредных загрязняющих веществ с поверхностным (неорганизованным) стоком с водосборной площади хозяйствующих субъектов (землепользователи, производственные объекты, муниципальные образования и прочие), находящихся на землях сельскохозяйственного использования, повлекших за собой загрязнение и (или) засорение (заиление) водных объектов, вследствие невыполнения природоохранных мероприятий, повлекших нарушение водного законодательства.

Настоящие Методические указания учитывают следующие основные виды вреда, по которым проводится исчисление ущерба:

- загрязнение водных объектов ЗВ, поступающими с жидкой и твердой фазами поверхностного стока;
- загрязнение водных объектов в результате аварийных сбросов удобрений, пестицидов, нефтепродуктов и иных вредных веществ и привнесенных поверхностным стоком в ПВО с земель сельскохозяйственного использования;
- засорение акватории, дна и берегов водного объекта смытой почвой (илом, мелкоземом) и другими ЗВ.

Настоящие Методические указания не распространяются на случаи:

- для исчисления размера ущерба, причиненного здоровью и имуществу граждан, имуществу юридических лиц, а также водным биоресурсам в результате ухудшения экологического состояния водных объектов;
- для исчисления ущерба от загрязнения ПВО неорганизованным поверхностным стоком с отдельно стоящих (точечное загрязнение) на землях сельскохозяйственного назначения производственных объектов (терриконы, золоотвалы и пр.).

Настоящий документ подлежит применению уполномоченными государственными органами России.

10.2 Нормативные ссылки

В Методических указаниях использованы следующие законодательные и нормативно-методические документы:

- Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации»;
- Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
- Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;
- Федеральный закон от 19 июля 1998 г. № 1133-ФЗ «О гидрометеорологической службе»;
- Постановление Правительства РФ от 23 ноября 1996 г. № 1404 «Об утверждении Положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах»;
- Приказ МПР РФ от 13 апреля 2009 г. № 87 «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства»;
- ГОСТ 17.4.4.03-86. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Метод определения потенциальной опасности эрозии под воздействием дождей;
- ГОСТ 17.1.3.13-86 (СТ СЭВ 4468-84). Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения;
- ГОСТ 17.1.1.01-77 (СТ СЭВ 3544-82). Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения;
- ГОСТ 27065-86 (СТ СЭВ 5184-85). Качество вод. Термины и определения;
- ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб;
- ГОСТ 17.1.5.05-83. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков;
- ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правил таксации рыбохозяйственных водных объектов»;
- СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод»;
- ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»;
- РД 54.24.309-92. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши в сети Роскомгидромета»;
- Методические рекомендации по оценке выноса загрязняющих веществ поверхностным стоком. – ВАСХНИЛ, 1985»;
- Фомин, Г. С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам: энциклопедический справочник / Г. С. Фомин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Протектор, 2000. – 848 с.»;
- Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – М.: МГУ, 1996. – 335 с.»;
- Литвин, Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л. Ф. Литвин. – М.: Академкнига, 2002. – 255 с.»;
- Маковеев, Н. И. Руслые процессы / Н. И. Маковеев, Р. С. Чалов. – М.: МГУ, 1986. – 264 с.»;

10.3 Термины и определения

Биохимическое потребление кислорода (БПК) – количество растворенного кислорода, потребляемого за установленное время и в определенных условиях при биохимическом окислении содержащихся в воде органических веществ.

Водопользование – использование различными способами водных объектов для удовлетворения потребностей Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических лиц, юридических лиц.

Водопользователь – гражданин или юридическое лицо, которым предоставлены права пользования водным объектом.

Водный объект – природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима.

Водоотведение – любой сброс вод, в том числе сточных вод и (или) дренажных вод, в водные объекты.

Водосбор – часть земной поверхности и толща почв и горных пород, откуда вода поступает к определенному створу водного объекта.

Гидрохимический режим – изменение химического состава воды водного объекта во времени.

Допустимое воздействие на водные объекты (ДВ) – допустимое совокупное воздействие всех источников, расположенных в пределах речного бассейна или его части, на водный объект или его часть.

Загрязнение водных объектов – поступление в водный объект загрязняющих веществ или энергии, которые ухудшают качество вод либо негативно влияют на состояние дна и берегов водного объекта.

Загрязняющее вещество – вещество или смесь веществ, количество и (или) концентрация которых превышают установленные для химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов, нормативы и оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Источник загрязнения вод – источник, вносящий в водные объекты, загрязняющие воду, вещества, микроорганизмы или тепло.

Качество воды – характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования.

Контроль качества вод – проверка соответствия показателей качества вод установленным нормам и требованиям.

Контрольный створ – поперечное фиксированное сечение водного потока, в котором контролируется качество воды.

Лимитирующий показатель вредности – признак, характеризующийся наименьшей безвредной концентрацией вещества в воде.

Негативное воздействие на окружающую среду – воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды.

Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду – нормативы, которые установлены в соответствии с показателями воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, и при которых соблюдаются нормативы качества окружающей среды.

Нормированное вещество – примесь в воде, для которой установлена предельно допустимая концентрация (ПДК).

Нормы качества воды – установленные значения показателей состава и свойств воды по видам ее использования.

Охрана водных объектов – система мероприятий, направленных на сохранение и восстановление водных объектов.

Предельно допустимая концентрация вещества в воде (ПДК) – концентрация индивидуального вещества в воде, выше которой вода непригодна для установленного вида водопользования.

Предельно допустимый сброс вещества в водный объект (ПДС) – масса вещества в возвратной воде, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном створе или не ухудшения сформировавшегося качества воды, если оно хуже нормативного.

Свойства воды – совокупность физических, химических, физико-химических, органолептических, биохимических и других свойств воды.

Состав воды – совокупность примесей в воде минеральных и органических веществ в ионном, молекулярном, комплексном, коллоидном и взвешенном состоянии, а также изотопный состав содержащихся в ней радионуклидов.

Створ начального разбавления – поперечное сечение потока, отстоящее от оголовка рассеивающего выпуска на величину длины зоны начального разбавления.

Сточные воды – воды, сброс которых в водные объекты осуществляется после ее использования, или сток которых осуществляется с загрязненной территории.

Ущерб экологический – ущерб, нанесенный окружающей природной среде.

Фоновая концентрация – концентрация вещества в воде, рассчитываемая применительно к данному источнику примесей в фоновом створе водного объекта при расчетных гидрологических условиях, учитывающая влияние всех источников примесей за исключением данного источника.

Фоновый створ – поперечное сечение потока, в котором определяется фоновая концентрация вещества в воде.

Химическое потребление кислорода (ХПК) – количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием различных окислителей.

Эвтрофирование – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов.

10.4 Общие положения

Выявление случаев загрязнения водных объектов осуществляется по результатам государственного контроля и надзора в области использования и охраны ПВО на постоянных или временных гидрохимических и гидрологических створах (постах) наблюдений.

При обнаружении поступления со стоком i -го ЗВ выше ПДК, производятся расчеты массы поступивших ЗВ, исчисляются размеры ущерба и передаются сведения в уполномоченные органы (МПП и др.) для принятия штрафных санкций и мер по устранению ущерба.

Определение вида и степени загрязнения водных объектов производится в водном объекте по плановым показателям натурными наблюдениями и обследованиями (инструментальными измерениями, отбором и анализом проб и образцов воды) по действующим нормативным документам.

Сроки проведения учетов и наблюдений совмещают со сроками наступления ответственных моментов, имеющих большую вероятность переноса вредных ве-

ществ в ПВО: сток талых вод, выпадение ливневых осадков, период орошения и другие.

При поступлении ЗВ с водосбора, на территории которого расположены сельскохозяйственные угодья одного землепользователя, исчисление ущерба производится на этого землепользователя.

При поступлении ЗВ с водосбора, на территории которого располагаются сельхозугодья нескольких землепользователей, исчисление ущерба производится пропорционально нанесенному ущербу. Ущерб для каждого землепользователя определяется путем устройства в водных объектах или водотоках на границах землепользований дополнительных временных створов и пунктов учета стока или производится исчисление ущерба и разграничение ответственности за ущерб по косвенным показателям с учетом используемых землепользователями компенсационных природоохранных мероприятий, снижающих поверхностный сток и поступление загрязняющих веществ в водные объекты.

Исчисление размера ущерба основывается на компенсационном принципе оценки и возмещения затрат, необходимых для установления факта и устранения причин загрязнения с учетом факторов, влияющих на его величину, к которым относятся: водохозяйственная ситуация; значимость состояния водных объектов; природно-климатические условия; длительность и интенсивность воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект.

Исчисление размера ущерба производится по данным натурного наблюдения или на основе расчетных методов с учетом всех фактических затрат на восстановление нарушенного состояния водного объекта.

Уполномоченные государственные органы имеют право исчислять ущерб по натурным наблюдениям и разграничивать ответственность землепользователей по косвенным показателям, предъявлять виновным иски и принимать решения о взыскании ущерба от загрязнения водных объектов с физических и юридических лиц всех форм собственности.

При наличии нескольких виновных в загрязнении ПВО, иски предъявляются в соответствии с долевым участием каждого виновного в причинении ущерба. Долевою ответственностью определяют на основе натурных исследований или по косвенным показателям с учетом компенсационных мероприятий. При отказе виновных юридических и физических лиц от возмещения ущерба по искам, необходимые средства взыскиваются в судебном порядке.

10.5 Порядок установления факта загрязнения водного объекта

Порядок установления виновника загрязнения заключается в последовательном ступенчатом выявлении случая поступления ЗВ, начиная от поста (или створа) наблюдений вверх по водотокам и водосбору: водохранилище (озеро, море) → река → овраги и балки → ложбины → сельхозугодья на водосборе или на части водосбора (севооборот, поле хозяйствующего субъекта и пр.).

Установление факта поступления ЗВ для каждого землепользователя производится двумя методами:

- натурными исследованиями – путем устройства на границах землепользований в водных объектах (водотоках, в т. ч. временных водотоках: балки, овраги, ложбины и пр.) дополнительных временных створов и пунктов учета поверхностного стока;

- по косвенным показателям – с учетом используемых землепользователями компенсационных природоохранных мероприятий, способствующих снижению поверхностного стока и массы ЗВ, поступающих в водотоки.

В поверхностном стоке подлежат контролю ЗВ, связанные с сельскохозяйственной деятельностью на водосборе: биогенные вещества и загрязнители, поступающие с минеральными и органическими удобрениями, пестицидами и гербицидами по следующим показателям: взвешенные вещества, содержание азота (аммонийного, нитратного, нитритного и общего), минерального и общего фосфора (фосфаты), растворимого калия, тяжелых металлов, БПК и ХПК.

Оценка влияния ЗВ на водные объекты производится исходя из концентрации этих веществ в водоемах (водотоках) применительно к народно-хозяйственному назначению последних (таблица 155).

Таблица 155 – Нормативы качества воды

Показатель	Норматив качества воды (ПДК), мг/дм ³	
	хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования ¹	рыбохозяйственного водопользования (ПДК _{р/х}) ²
рН	6,5–9,0	6,5–8,5
Взвешенные вещества	–	150
Кальций	–	180
Магний	50	40
Сульфаты	500	100
Хлориды	350	300
Минерализация общая	1000	1000
Жесткость общая	7	7
Азот аммонийный	2,0	0,39
Азот нитритный	3,0	0,08
Азот нитратный	45	40
Фосфаты	–	0,6
БПК _{полн}	3,0	3,0
ХПК	5,0	15,0 ³
Нефтепродукты	0,1	0,05
Фенолы	–	0,001
Железо общее	0,3(1) ⁴	0,1
Медь	1,0	0,001
Цинк	5,0	0,01
Никель	0,1	0,01
Марганец	0,1	0,01
Алюминий	0,2(0,5) ⁴	0,04
Свинец	0,03	0,006
Кадмий	0,001	0,005
Ртуть	0,0001	0,00001
ДДТ	0,0002	0,00001

¹ Предельно-допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

² ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение.

³ Приведено в мг О₂/дм³.

⁴ Величина, указанная в скобках, может быть установлена Главным государственным санитарным врачом по соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения.

Правила отбора, транспортировки и хранения проб, а также методы определения показателей качества воды регламентируются нормативными документами.

Содержание всех биогенных веществ в поверхностных водных объектах регламентируется показателем ПДК. Ущерб от загрязнения ПВО вредными веществами исчисляется при превышении $\text{ПДК}_{\text{р/х}}$.

Плановый систематический, гидрологический и гидрохимический контроль качества вод проводится уполномоченными органами для изучения закономерностей формирования гидрохимического режима в бассейнах рек, учета тенденций его изменения и установления причин загрязнения.

Целью систематического контроля является определение влияния поверхностного стока с сельхозугодий на содержание вредных веществ и качество воды в водных объектах за отдельные месяцы, сезоны или в целом за год. Анализы проводятся не реже одного раза в месяц или по утвержденному плану.

Оперативный (дополнительный) контроль производится мобильными группами при поступлении повышенного объема поверхностного стока в период экстремальных условий, не только по стационарным створам, но и по всем ПВО и водотокам в местах, где наблюдается увеличение стоков и концентрации вредных веществ в воде. К таким периодам относятся:

- весеннее половодье;
- выпадение стокообразующих осадков;
- орошение сельскохозяйственных культур;
- массовое внесение на поля удобрений, пестицидов, мелиорантов и пр.;
- резкое повышение концентрации вредных веществ в водных объектах, выявленное при систематическом контроле.

Программа оперативного контроля не является постоянной во времени и должна меняться в соответствии с обстановкой (увязывается со сроками орошения, выпадением стокообразующих осадков, внесением удобрений, началом паводков, особенностей региона). Она предназначена для получения точных данных по загрязнению и заилению водных объектов для исчисления ущерба, наносимого поверхностным стоком.

При обнаружении превышения фонового загрязнения и $\text{ПДК}_{\text{р/х}}$ вредных веществ в воде, поступающей с поверхностным стоком из малых рек, водных объектов и водотоков (балки, овраги и пр.), не имеющих стационарных постов наблюдений, создают временный пост наблюдений и проводят наблюдения и обследования водосбора (или части водосбора, поля) и водных объектов мобильными группами в наиболее ответственные периоды (таяние снегов, ливни и пр.).

При наличии на водосборе нескольких хозяйствующих субъектов виновника загрязнения определяют более детальными натурными наблюдениями и учетами качества воды поверхностного стока, поступающего во временные водотоки с отдельных полей, а также путем устройства стоковых площадок на конкретных участках или по косвенным показателям.

Ущерб должен определяться преимущественно на основании натурных наблюдений и исследований на постоянных и временных створах и постах уполномоченными мобильными группами. Для снижения затрат и объемов работ на натурные наблюдения, оценку поступления ЗВ в водные объекты осуществляют косвенным методом, т. е. по удельным показателям коэффициентов стока и выноса биогенных элементов и загрязняющих веществ в водотоки и ПВО со всего или части площади водосбора с учетом влияния природоохранных мероприятий на объем поверхностного стока, выраженные через поправочные компенсационные коэффициенты.

10.6 Исчисление ущерба, наносимого поверхностным водным объектам поверхностным стоком

10.6.1 Методология исчисления ущерба

Исчисление размера ущерба, причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе твердой и жидкой фазы поверхностного стока, производится по формуле (62):

$$Y = K_{\text{вг}} \cdot K_{\text{дл}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{ин}} \cdot K_{\text{сэз}} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{из}} + Y_{\text{заил}} \cdot K_{\text{ин}},$$

где Y – размер ущерба, тыс. руб.;

$K_{\text{вг}}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года (таблица А.1, приложение А);

$K_{\text{дл}}$ – коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации (таблица А.2, приложение А);

$K_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов) (таблица А.3, приложение А);

$K_{\text{ин}}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития. Принимается на уровне интегрального индекса-дефлятора, который на соответствующий год определяется как произведение индексов-дефляторов по годам, устанавливаемых решением органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации по строке «инвестиции (капитальные вложения) за счет всех источников финансирования». $K_{\text{ин}} = 1,0$ – если виновник загрязнения возместил ущерб в течение полугода, предпринял внедрение компенсационных мер по снижению поверхностного стока и случай загрязнения был впервые;

$K_{\text{сэз}}$ – коэффициент социально-экономической значимости хозяйствующего субъекта, допустившего поступление загрязняющих веществ в ПВО с поверхностным стоком, устанавливается для хозяйствующего субъекта по согласованию с МПР, может изменяться от 1,0 до 0,1;

H_i – таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты. По вредным (загрязняющим) веществам, таксы для исчисления размера вреда определяются на уровне вредного (загрязняющего) вещества, являющегося химическим аналогом и входящим в группу вредных (загрязняющих) веществ того же класса опасности (таблица А.4, приложение А);

M_i – масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества определяется по каждому ингредиенту загрязнения, т;

$K_{\text{из}}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект. Устанавливается в зависимости от превышения фактической концентрации вредного (загрязняющего) вещества, поступающего со стоком над установленной ПДК_{р/х} для него (таблица 156).

Для вредных (загрязняющих) веществ 1–3 класса опасности, которые не должны присутствовать в воде, нормативы ПДК_{р/х} которых определены в соответствующих нормативных документах словом «отсутствие», в связи с их повышенной опасностью и запрещением поступления в водные объекты, к таксам для исчисления размера вреда для вредных (загрязняющих) веществ с ПДК_{р/х} менее 0,001 мг/л, применяется коэффициент $K_{\text{из}}$, равный 10.

Таблица 156 – Коэффициент интенсивности воздействия загрязненных веществ на водный объект $K_{из}$

Показатель превышения ПДК _{р/х} , раз	Коэффициент $K_{из}$
1–10	1
10–20	2
20–30	3
30–40	4
40–50	5
Более 50	6–10 ¹
¹ Коэффициент устанавливается пропорционально возрастанию величины превышения ПДК _{р/х} .	

$У_{заил}$ – ущерб от заиления ПВО, тыс. руб.

10.6.2 Исчисление ущерба от заиления водного объекта

Ущерб от заиления ПВО определяется по формуле (63):

$$У_{заил} = W_{тв.ст.} \cdot Z_{оч} \cdot K_{ин},$$

где $У_{заил}$ – ущерб от заиления, тыс. руб.;

$W_{тв.ст.}$ – объем твердого стока, м³;

$Z_{оч}$ – затраты на очистку водных объектов от ила и мелкозема, тыс. руб.;

$K_{ин}$ – коэффициент индексации.

Объем твердого стока $W_{тв.ст.}$ определяется двумя методами:

- при возможности учета объема стока в ПВО и мутности стока по формуле (64):

$$W_{тв.ст.} = O_{ст.} \cdot K_{мутн.} \cdot 10^{-6} / a,$$

где $O_{ст.}$ – объем поступившего в ПВО поверхностного стока, м³;

$K_{мутн.}$ – показатель мутности стока, мг/дм³;

10^{-6} – коэффициент перевода мг/дм³ в т/м³;

a – объемная масса ила, т/м³.

- по фактически поступившему объему ила и мелкозема в ПВО за определенный период. Определяется натурными наблюдениями и измерениями слоя осадков и их объема или рассчитывается как разность объема воды в ПВО в начале и в конце периода отсчета при НПУ воды в ПВО по формуле (65):

$$W_{тв.ст.} = W_{пво.нач.} - W_{пво.кон.},$$

где $W_{пво.нач.}$ – объем воды в ПВО в начале периода отсчета, м³;

$W_{пво.кон.}$ – объем воды в ПВО в конце периода отсчета, м³.

При необходимости транспортировки ила в процессе очистки ПВО и расчета затрат, объем ила пересчитывают на массу ила по формуле (66):

$$M_{тв.ст.} = W_{тв.ст.} \cdot a,$$

где $M_{тв.ст.}$ – масса ила, м³.

При подготовке проекта очистки водного объекта расчет затрат на очистку от заиления рекомендуется проводить с учетом всех затрат. В случае инфляции или удорожания механизмов и средств производства сумма затрат может возрасти. В этом случае применяют ранее приведенный коэффициент индексации $K_{ин}$ для расчета затрат на очистку ПВО.

10.6.3 Расчет массы сброса загрязняющих веществ в проточные и непроточные поверхностные водные объекты

По натурным наблюдениям (инструментальные измерения, отбор проб, лабораторный анализ проб и пр.), массу поступивших ЗВ M_i с поверхностным стоком и исчисление ущерба ПВО определяют при превышении i -м веществом ПДК_{р/х}.

Массу вредных ЗВ, поступивших в ПВО, определяют для проточных и непроточных водных объектов.

В проточных ПВО по натурным наблюдениям массу вредных (загрязняющих) веществ, бытовых и других отходов (удобрения, ядохимикаты, навоз и т. д.) определяют для каждого i -го ЗВ по формуле:

$$M_{\text{нс.пр}} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot S \cdot (C_i \cdot O_{\text{д}} + C_i \cdot O_{\text{т}}), \quad (104)$$

где $M_{\text{нс.пр}}$ – масса вредных (загрязняющих) веществ, поступивших в проточные ПВО, т;

10^{-6} – коэффициент перевода мг/дм³ в т/м³;

S – площадь территории (водосбора) хозяйствующего субъекта, га;

C_i – концентрация i -го ЗВ, превышающего ПДК_{р/х}, соответственно в дождевых и талых водах, мг/дм³;

$O_{\text{д}}, O_{\text{т}}$ – объемы стока соответственно дождевых и талых вод за время t сброса ЗВ, м³/га.

Площадь территории S (водосбора) определяется по топографическим картам, а границы территории хозяйствующего субъекта (землепользователя) на водосборе по данным генерального плана землеустройства, проектам землеустройства хозяйства, актам разграничения земель и прочим документам, отражающим фактически закрепленную за землепользователем площадь угодий.

Объемы стока дождевых $O_{\text{д}}$ и талых вод $O_{\text{т}}$ за время сброса t и соответственно концентрации i -го вредного ЗВ в дождевых $C_{\text{д}i}$ и талых водах $C_{\text{т}i}$ определяются в жидком стоке на постоянных и временных гидрологических и гидрохимических постах (створах) по формуле:

$$O_{\text{т}} \text{ или } O_{\text{д}} = Q \cdot t \cdot 3600, \quad (105)$$

где Q – расход воды в водотоке, м³/с;

t – время в течение которого происходило поступление стока с повышенным содержанием i -го вредного ЗВ, ч;

3600 – коэффициент перевода секунд в часы.

В непроточных ПВО, по натурным наблюдениям, массу i -го ЗВ, бытовых и других отходов (удобрения, ядохимикаты, навоз и т. д.), поступивших в ПВО с поверхностным стоком со всего водосбора, определяют по формуле (68):

$$M_{\text{нс.непр}i} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot (W_{\text{кон}} \cdot C_{\text{к}i} - W_{\text{нач}} \cdot C_{\text{н}i}),$$

где $M_{\text{нс.непр}i}$ – масса вредных (загрязняющих) веществ, поступивших в непроточные ПВО, т;

$W_{\text{кон}}$ – объем воды в ПВО в конце периода отсчета поступления ЗВ с поверхностным стоком дождевых или талых вод, м³;

$C_{\text{к}i}, C_{\text{н}i}$ – концентрация i -го ЗВ в непроточном ПВО, превышающего ПДК_{р/х}, соответственно до и после поступления поверхностного стока, мг/дм³;

$W_{\text{нач}}$ – объем воды в ПВО в начале периода отсчета поступления ЗВ с поверхностным стоком дождевых или талых вод, м³.

Для разграничения ответственности нескольких землепользователей, находящихся на одном водосборе, массу $M_{\text{нс.}i}$ поступивших ЗВ в ПВО выражают на единицу площади, т. е. в т/га по формулам (69), (70):

$$M_{\text{нс.пр}} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot (C_i \cdot O_{\text{д}} + C_i \cdot O_{\text{т}}) / S,$$

$$M_{\text{нс.непр}} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot (W_{\text{кон}} \cdot C_{\text{ки}} - W_{\text{нач}} \cdot C_{\text{ни}}) / S.$$

$M_{\text{нс.пр}i}$ и $M_{\text{нс.непр}i}$ выражают на единицу площади в т/га при необходимости разграничения ответственности нескольких землепользователей, расположенных на одном водосборе и виновных в поступлении ЗВ $M_{\text{нс.}3i}$ в ПВО по формуле (71):

$$M_{\text{нс.}3i} = S_n \cdot M_{\text{нс}}$$

где $M_{\text{нс.}3i}$ – масса i -го ЗВ, поступившего с территории (части водосбора S_n) n -го землепользователя.

S_n – площадь водосбора, га;

$M_{\text{нс}}$ – масса поступивших ЗВ в ПВО, т/га.

10.6.4 Прогноз поступления загрязняющих веществ

Прогноз поступления массы ЗВ с водосбора с поверхностным стоком талых и дождевых вод используется для экологического обоснования возможного изменения процессов эвтрофирования водоемов от поступления биогенных веществ. Применяется при разработке и экспертизе проектов строительства водохранилищ, а также для прогноза поступления биогенных ЗВ в ПВО по укрупненным показателям в связи с увеличением объемов внесения минеральных и органических удобрений на землях сельскохозяйственного использования.

Массу ЗВ, бытовых и других отходов (удобрения, ядохимикаты, навоз и т. д.), поступивших в ПВО с поверхностным стоком, определяют по формуле (104):

$$M_{\text{нс.пр}} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot S \cdot (C_i \cdot O_{\text{д}} + C_i \cdot O_{\text{т}}),$$

где $M_{\text{нс.пр}}$ – масса вредных (загрязняющих) веществ, поступивших в проточные ПВО, т;

10^{-6} – коэффициент перевода мг/дм³ в т/м³;

S – площадь водосбора (части водосбора), га;

C_i – концентрация i -го ЗВ, превышающего ПДК_{р/х}, принимается по усредненным данным за несколько лет, мг/дм³;

$O_{\text{д}}$, $O_{\text{т}}$ – объемы стока соответственно дождевых и талых вод за время t сброса, принимаются для соответствующей зоны по усредненным данным за несколько лет, м³/га.

Объем стока дождевых (ливневых) вод с водосбора определяется по формуле:

$$O_{\text{д}} = 2,5 \cdot H_{\text{д}} \cdot K_q \cdot K_{\text{вн}}, \quad (106)$$

где 2,5 – коэффициент;

$H_{\text{д}}$ – слой осадков за теплый период (апрель – октябрь) со средними температу-

рами выше 0 °С, определяется по данным метеорологических наблюдений, мм;

K_q – коэффициент, учитывающий объем стока дождевых вод в зависимости от интенсивности дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при периоде однократного превышения расчетной интенсивности дождя, равном 1 году q_{20} (таблица 14, рисунок А.1, приложение А);

$K_{вн}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность формирования дождевого стока с учетом удельного веса (в процентах) водонепроницаемых поверхностей $P_{вн}$ на площади территории (водосбора) хозяйствующего субъекта, определяется по данным таблицы 15 и рисунка А.2 приложения А).

Прогноз объема стока талых вод определяется по формуле:

$$O_T = H_T \cdot K_T \cdot K_B, \quad (107)$$

где O_T – объем стока талых вод с водосбора (участка), м³/га;

H_T – слой осадков за холодный период (ноябрь – март) со средними температурами ниже 0 °С, определяется по данным метеорологических наблюдений, мм;

K_T – коэффициент, учитывающий объем стока талых вод в зависимости от условий снеготаяния, определяется по данным таблицы 16, для которой зоны по условиям весеннего стока талых вод (рисунок А.3, приложение А);

K_B – коэффициент, учитывающий вывоз снега с территории (водосбора) хозяйствующего субъекта (при отсутствии вывоза снега $K_B = 10$ и его значение уменьшается при вывозе снега пропорционально объему вывоза), для сельхозугодий принимается равным 1,0.

10.6.5 Расчет массы поступления загрязняющих веществ по натурным показателям для различных видов водных объектов на одном водосборе

Масса i -го ЗВ, поступившего в различные водные объекты, находящиеся на одном водосборе выше гидрологического или гидрохимического поста (створа) наблюдений, определяется как сумма массы поступивших ЗВ во все виды ПВО и водотоки по формуле (73):

$$M_i = \sum (M_{ози} + M_{реки} + M_{оври} + M_{мели}),$$

где M_i – масса i -го ЗВ, поступившего в водные объекты (реки, озера, пруды и прочие водные объекты), находящиеся на одном крупном водосборе, т;

$M_{ози}$ – масса i -го ЗВ, поступившего в непроточное озеро (пруд), определяется по формуле (68), т;

$M_{реки}$ – масса i -го ЗВ, поступившего в реки, проточные озера и водохранилища, определяется по формуле (67), т;

$M_{оври}$ – масса i -го ЗВ, поступившего в водные объекты из временных водотоков (овраг, балок, ложбин), т. Учитываются данные по землепользователям;

$M_{мели}$ – масса вредных веществ, поступивших с мелиорированных земель т. Учитываются данные по землепользователям, если имеются мелиорированные земли.

Поступление массы ЗВ с поверхностным стоком с земель сельскохозяйственного использования (с талыми, ирригационными водами или ливнями) во временные водотоки (балки, овраги, ложбины и пр.) определяется в случае необходимости установления виновника загрязнения, находящегося на части водосбора. Для этого уполномоченными мобильными группами устанавливаются временные створы

(посты) наблюдений на период таяния снега или при ожидании ливневых осадков, а также при учете стока с мелиорированных участков.

Масса i -го ЗВ, поступившего во временные водотоки, определяется по сумме его содержания в жидком $M_{\text{овр.жст.}i}$ и твердом стоках $M_{\text{овр.тв.ст.}i}$, поступивших с учитываемого водосбора (части водосбора) за его пределы или в ПВО, по формуле:

$$M_{\text{овр.}i} = \sum (M_{\text{овр.жст.}i} + M_{\text{овр.тв.ст.}i}). \quad (108)$$

Масса вредных веществ в жидком стоке определяется по формуле:

$$M_{\text{овр.жст.}i} = Q_{\text{овр.}} \cdot C_{\text{овр.}i} \cdot 10^{-6} \cdot T \cdot 3600, \quad (109)$$

где $M_{\text{овр.жст.}i}$ – масса i -го ЗВ, поступившего с жидким стоком, т;

$Q_{\text{овр.}}$ – расход воды (общий сток) в водотоке, на временном створе, $\text{м}^3/\text{с}$;

$C_{\text{овр.}i}$ – концентрация i -го ЗВ в воде, превышающего ПДК_{р/х}, $\text{мг}/\text{дм}^3$;

10^{-6} – коэффициент перевода массы ЗВ из $\text{мг}/\text{дм}^3$ в $\text{т}/\text{м}^3$;

T – время, в течение которого учитывали расход воды, ч;

3600 – коэффициент перевода секунд в часы.

Масса i -го ЗВ, поступившего с сельхозугодий с твердым стоком (мелкозем, ил, грунт и пр.) в водотоки (овраги, реки, озера и пр.) за пределы учитываемого водосбора или в ПВО, определяется путем выделения твердой части стока $W_{\text{гр.}}$ из общего стока и определения содержания i -го ЗВ в твердом стоке по формуле:

$$M_{\text{овр.тв.ст.}i} = W_{\text{гр.}} \cdot \alpha \cdot C_{\text{овр.тв.ст.}i} \cdot 10^{-6}, \quad (110)$$

где $M_{\text{овр.тв.ст.}i}$ – масса вредных веществ, поступивших с сельхозугодий с твердым стоком в овраг, т;

$W_{\text{гр.}}$ – объем твердого стока (грунт, ил и пр.), поступившего за пределы учитываемого водосбора, м^3 ;

α – объемная масса твердого стока (грунта, ила, не успевшего уплотниться, определяется натурными наблюдениями для каждого типа почвы или принимается равной: для супесчаных почв 1,1–1,15 $\text{т}/\text{м}^3$, для глинистых 1,0–1,1, для тяжелосуглинистых и при наличии песка, гальки, гравия 1,15–1,25 $\text{т}/\text{м}^3$);

$C_{\text{овр.тв.ст.}i}$ – содержание i -го ЗВ в твердом стоке, $\text{мг}/\text{кг}$;

10^{-6} – коэффициент перевода массы ЗВ в твердом стоке из $\text{мг}/\text{кг}$ в т.

Объем поступившего с части водосбора (полей) твердого стока (ила, мелкозема и пр.) $W_{\text{гр.}}$ ($\text{т}/\text{га}$) с поверхностным стоком во временные водотоки (овраги, балки, ложбины и пр.) определяют путем вычитания объема жидкого стока из общего объема поверхностного стока по формуле:

$$W_{\text{гр.}} = (O_{\text{общ. ст.}} - O_{\text{жидк. ст.}}) / S, \quad (111)$$

где $O_{\text{общ. ст.}}$ – общий сток, м^3 ;

$O_{\text{жидк. ст.}}$ – жидкий сток, м^3 ;

S – площадь поля (части водосбора), га.

Допускается определение массы поступившего i -го ЗВ с жидким и твердым стоком с отдельных участков водосбора инструментальными измерениями, в том числе с использованием стоковых площадок и созданием искусственного дождя, соответствующего по параметрам коэффициенту K_q в формуле (106) и осреднением полученных данных по результатам не менее трех измерений.

При невозможности установления массы поступивших с поверхностным сто-

ком загрязняющих веществ в ПВО по натурным наблюдениям и инструментальным измерениям, массу таких веществ определяют по косвенным показателям.

10.6.6 Расчет массы поступления загрязняющих веществ по косвенным показателям

По косвенным показателям масса i -го ЗВ, попавшего в водный объект с поверхностным стоком, определяется расчетными методами по формуле:

$$M_{\text{общ.ст.}ij} = M_{\text{жидк.ст.}ij} + M_{\text{тв.ст.}ij}, \quad (112)$$

где $M_{\text{общ.ст.}ij}$ – общая масса i -го ЗВ, поступившего в ПВО с части водосбора j -го хозяйствующего субъекта с поверхностным стоком талых и дождевых вод или с водами с мелиорированных земель, т;

$M_{\text{жидк.ст.}ij}$, $M_{\text{тв.ст.}ij}$ – масса i -го ЗВ, поступившего с поверхностным стоком, соответственно с жидкой и твердой фазами с сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта, т.

При необходимости определения $M_{\text{общ.ст.}i}$, поступившего с части водосбора, применяют формулу:

$$M_{\text{общ.ст.}ij} = (M_{\text{жидк.ст.}ij} + M_{\text{тв.ст.}ij}) / S_i, \quad (113)$$

где S_i – площадь сельскохозяйственного водосбора или части водосбора, га.

Масса i -го ЗВ в жидком стоке $M_{\text{жидк.ст.}i}$ талых O_t и дождевых O_d вод, поступившая с водосбора, на котором располагается один землепользователь, определяется в тоннах, по формуле:

$$M_{\text{жидк.ст.}i} = (\sum C_i \cdot O_t - \sum C_i \cdot O_d) \cdot 10^{-6}, \quad (114)$$

где C_i – концентрация i -го ЗВ в поверхностном стоке талых, дождевых вод, поступивших с площади хозяйствующих субъектов (части водосбора), мг/дм³;

O_t , O_d – объем стока талых, дождевых (ливневых) вод, поступивших с части водосбора, в мм или м³/га (1 мм стока при пересчете на 1 га равен 10 м³/га).

Масса i -го ЗВ в жидком стоке, поступившего с части водосбора, на котором располагаются сельхозугодия нескольких землепользователей j , определяется на единицу площади водосбора по формуле:

$$M_{\text{жидк.ст.}ij} = (C_i \cdot O_{tj} / S_i + C_i \cdot O_{dj} / S_i) \cdot 10^{-6}, \quad (115)$$

где $M_{\text{жидк.ст.}ij}$ – масса i -го ЗВ в жидком стоке, т/га;

S_i – площадь части водосбора (сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта), га;

O_{tj} , O_{dj} – объем стока талых и дождевых (ливневых) вод с части водосбора j -го хозяйствующего субъекта, м³/га;

10^{-6} – коэффициент перевода массы ЗВ в твердом стоке из мг/кг в т.

Объем стока дождевых (ливневых) вод с части водосбора (сельхозугодий хозяйствующего субъекта S_j) рассчитывают по формуле:

$$O_{dj} = 10 \cdot H_d \cdot S_j \cdot K_{\text{комп.ст.}dj}, \quad (116)$$

где O_{dj} – объем стока дождевых (ливневых) вод с части водосбора j -го хозяйствующего субъекта, м³/га;

10 – коэффициент перевода осадков из мм в м³/га;

H_d – слой ливневых осадков, определяемых по данным метеорологических наблюдений (допускается по осадкомерам хозяйствующего субъекта), мм;

S_j – площадь части водосбора (сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта), га;
 $K_{\text{комп.ст.д}j}$ – компенсационный коэффициент стока дождевых вод, определяется для части водосбора (j -го хозяйствующего субъекта).

При удалении водосбора от метеостанции более 5 км, слой осадков для конкретного участка может определяться по разности показателей влажности почвы до и после ливня по формуле (90):

$$H_d = 100 \cdot h \cdot \alpha \cdot (V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}}),$$

где H_d – слой осадков, мм;

100 – коэффициент перевода;

h – слой промачивания почвы дождем, м;

α – объемная масса (плотность естественного сложения) слоя промачивания, т/м³;

$V_{\text{кон}}$, $V_{\text{нач}}$ – соответственно, влажность почвы конечная (после дождя) и начальная (до дождя), определяется для глубины слоя промачивания почвы в % от массы абсолютно сухой почвы.

При отсутствии данных о $V_{\text{нач}}$, рассчитывать начальную влажность почвы можно для различных видов культур с использованием биоклиматических коэффициентов водопотребления или по величине испарения на водобалансовых участках.

Объем стока талых вод с сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта определяется по формуле:

$$O_{Tj} = 10 \cdot H_T \cdot S_i \cdot K_{\text{комп.ст.т}j}, \quad (117)$$

где O_{Tj} – объем стока талых вод с части водосбора j -го хозяйствующего субъекта, м³/га;

10 – коэффициент перевода осадков из мм в м³/га;

H_T – запасы воды в снеге + осадки в период таяния снега, определяются по данным метеорологических наблюдений ближайшей метеостанции, мм;

S_i – площадь части водосбора (сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта), га;

$K_{\text{комп.ст.т}j}$ – компенсационный коэффициент стока дождевых вод, определяется с части водосбора j -го хозяйствующего субъекта для уплотненной или рыхлой пашни.

Объем стока вод с мелиорированных земель $O_{\text{мел}}$ определяется для орошаемых сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта по формуле:

$$O_{\text{мел.}j} = K_{\text{мел.}j} \cdot H_j \cdot S_j, \quad (118)$$

где $O_{\text{мел.}j}$ – объем стока оросительных вод с сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта, м³;

$K_{\text{мел.}j}$ – коэффициент стока с мелиорируемых земель (от H составляет от 0,1 при соблюдении технологии орошения до 0,25 при нарушении технологии орошения);

H_j – оросительная норма на сельхозугодиях j -го хозяйствующего субъекта, м³/га.

Объем стока с осушаемых земель определяется по формуле:

$$O_{\text{мел.осуш.}i} = 10 \cdot K_{\text{осуш.}i} \cdot P, \quad (119)$$

где $O_{\text{мел.осуш.}i}$ – объем стока с осушаемых сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта, м³/га;

$K_{\text{осуш.}i}$ – коэффициент стока с осушаемых земель (составляет 0,3–0,5 от суммы выпавших осадков за учитываемый период, 0,3 – в зимний период и 0,5 – в летний период);

P – осадки за учитываемый период, мм.

При отсутствии натуральных данных о концентрации i -го C_i ЗВ, поступившего в составе жидкой фазы поверхностного стока с земель сельскохозяйственного использования, а также для прогноза поступления биогенных веществ с поверхностным стоком в связи с увеличением доз внесения удобрений рассчитывают концентрацию i -го ЗВ в жидком стоке по уравнениям связи, приведенным в таблицах 141 и 142.

В таблицах 141 и 142 C_i – это концентрация i -го биогенного элемента в жидком стоке (мг/дм³), зависящая от Π_i – содержание i -го биогенного элемента в почве (мг/кг). Значение Π_i определяется по натурным наблюдениям в пахотном слое почвы или берется из картограмм обеспеченности почв элементами питания или проектов землеустройства.

Для азота приводятся значения C_i в зависимости от содержания в почве азота легкогидролизуемого $N_{ЛГ}$ или нитратного $N_{НИТ}$. Выбор $N_{ЛГ}$ или $N_{НИТ}$ зависит от наличия данных у землепользователя. C_i – определяется для почв нейтрального ряда (рН > 6,0) и кислотного ряда (рН < 6,0). Распределение типов почв по России приводится на рисунке 9.

Масса ЗВ, поступивших с мелиорированных земель (орошение, осушение) за период $T_{мел}$, определяется по формуле:

$$M_{мелij} = C_{мелij} \cdot 10^{-6} \cdot Q_{мелj} \cdot T_{мелj} \cdot 8,64 \cdot 10^4, \quad (120)$$

где $M_{мелij}$ – масса i -го ЗВ, поступившего с мелиорированных земель (осушение или орошение) j -го хозяйствующего субъекта, т;

$C_{мелij}$ – концентрация i -го ЗВ в стоках с мелиорируемых земель j -го хозяйствующего субъекта, мг/дм³;

10^{-6} – коэффициент перевода из мг/дм³ в т/м³;

$Q_{мелj}$ – расход стока с осушаемых (орошаемых) участков j -го хозяйствующего субъекта, м³/с;

$T_{мелj}$ – период времени поступления i -го ЗВ, превышающего фоновый показатель или ПДК_{р/х}, сут;

$8,64 \cdot 10^4$ – коэффициенты перевода секунд в сутки.

Масса выноса i -го биогенных элементов, поступивших с твердым стоком с сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта или в целом с водосбора, определяется для талых и ливневых вод по формуле:

$$M_{ТВ.стij} = W_{см.пj} \cdot S_i \cdot (\Pi_i - \Pi_i \cdot K_{вын}) \cdot 10^{-6}, \quad (121)$$

где $M_{ТВ.стij}$ – масса i -го ЗВ, поступившего с твердым стоком с сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта, т;

$W_{см.пj}$ – масса почвы, смытая с твердым стоком с сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта, т/га;

Π_i – масса i -го ЗВ в почве сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта по данным картограмм на момент их составления, мг/кг;

$K_{вын}$ – коэффициент выноса i -го биогенных элементов (БЭ) жидкой фазы поверхностного стока по уравнениям, приведенным в таблицах 157, 158;

10^{-6} – коэффициент пересчета мг в т.

Таблица 157 – Определение коэффициента выноса биогенного элемента с жидкой фазой поверхностного стока в зависимости от содержания этих веществ в почве (почвы нейтрального ряда)

Биогенный элемент жидкой фазы	Биогенный элемент в почве P_i , кг/га	Коэффициент выноса биогенных элементов с жидким стоком			
		Талых вод		Дождевых вод	
		Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
NH ₄	Легкогидролизуемый	$NH_4 = 0,0003 e^{0,0023P_i}$	0,51	$NH_4 = 0,0001 e^{0,0055P_i}$	0,58
	Нитратный	$NH_4 = 5E-07 P_i^2 - 7E-05 P_i + 0,0034$	0,81	$NH_4 = 1E-07 P_i^2 - 2E-05 P_i + 0,0021$	0,56
NO ₃	Легкогидролизуемый	$NO_3 = 1E-07 P_i^2 + 1E-06 P_i$	0,75	$NO_3 = 0,0421 e^{0,0032P_i}$	0,69
	Нитратный	$NO_3 = 0,0002 P_i$	0,52	$NO_3 = 0,4674 e^{0,0133P_i}$	0,71
NO ₂	Легкогидролизуемый	$NO_2 = 3E-10 P_i^2 - 1E-08 P_i$	0,87	$NO_2 = 7E-05 e^{0,0028P_i}$	0,52
	Нитратный	$NO_2 = 7E-06 e^{0,0165P_i}$	0,65	$NO_2 = 1E-07 P_i^2 - 2E-05 P_i + 0,0009$	0,73
Азот (NH ₄ + NO ₃ + NO ₂)	Легкогидролизуемый	$N = 1E-07 P_i^2 + 5E-06 P_i$	0,78	$N = 0,0422 e^{0,0032P_i}$	0,65
	Нитратный	$N = 0,0073 e^{0,0087P_i}$	0,34	$N = 6E-05 P_i^2 - 0,0101 P_i + 0,5706$	0,75
P ₂ O ₅	Подвижный Р по Мачигину	$P_2O_5 = 0,0001 e^{0,0023P_i}$	0,63	$P_2O_5 = 0,0002 e^{0,0024P_i}$	0,63
K ₂ O	Подвижный К по Мачигину	$K_2O = 0,0028 e^{0,0004P_i}$	0,87	$K_2O = 0,0107 e^{0,0003P_i}$	0,69

Таблица 158 – Определение коэффициента выноса биогенного элемента с жидкой фазой поверхностного стока в зависимости от содержания этих веществ в почве (почвы кислого ряда)

Биогенный элемент жидкой фазы	Биогенный элемент в почве Π_i , кг/га	Коэффициент выноса биогенных элементов с жидким стоком			
		Талых вод		Дождевых вод	
		Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
NH ₄	Легкогидролизуемый	$NH_4 = 3E-08 \Pi_i^2 - 2E-06 \Pi_i + 0,0014$	0,77	$NH_4 = 8E-09 \Pi_i^2 - 2E-07 \Pi_i + 0,0003$	0,83
	Нитратный	$NH_4 = 4E-0 \Pi_i^2 - 7E-05 \Pi_i + 0,0109$	0,51	$NH_4 = 0,0017 e^{0,0055\Pi_i}$	0,52
NO ₃	Легкогидролизуемый	$NO_3 = 3E-07 \Pi_i^2 + 3E-06 \Pi_i$	0,76	$NO_3 = 3E-06 \Pi_i^2 - 0,0001 \Pi_i$	0,86
	Нитратный	$NO_3 = 0,0162 e^{0,0132\Pi_i}$	0,63	$NO_3 = 1E-06 \Pi_i^2 + 0,0072 \Pi_i$	0,73
NO ₂	Легкогидролизуемый	$NO_2 = 5E-09 \Pi_i^2 - 2E-07 \Pi_i$	0,71	$NO_2 = 5E-09 \Pi_i^2 - 1E-07 \Pi_i$	0,70
	Нитратный	$NO_2 = 3E-08 \Pi_i^2 + 7E-06 \Pi_i$	0,70	$NO_2 = 3E-08 \Pi_i^2 + 1E-05 \Pi_i$	0,71
Азот (NH ₄ + NO ₃ + NO ₂)	Легкогидролизуемый	$N = 3E-07 \Pi_i^2 + 3E-06 \Pi_i$	0,83	$N = 3E-06 \Pi_i^2 - 7E-05 \Pi_i$	0,85
	Нитратный	$N = 0,0229 e^{0,0108\Pi_i}$	0,57	$N = 6E-05 \Pi_i^2 + 0,0008 \Pi_i + 0,136$	0,80
P ₂ O ₅	Подвижный Р по Кирсанову	$P_2O_5 = 0,0002 e^{0,0007\Pi_i}$	0,77	$P_2O_5 = 3E-10 \Pi_i^2 - 6E-09 \Pi_i + 0,0002$	0,85
K ₂ O	Подвижный К по Кирсанову	$K_2O = 2E-08 \Pi_i^2 + 0,0002 \Pi_i + 0,0242$	0,80	$K_2O = 0,0265 e^{0,0023\Pi_i}$	0,68

Масса почвы, смытая твердым стоком для талых вод, определяется по уравнениям, приведенным в таблице 159, для ливневых вод – по уравнению, приведенному в таблице 160.

Таблица 159 – Смыв почвы талыми водами

Уравнение регрессии		Обозначение показателя и единицы измерения	Интервал значений
по уплотненной пашне	по рыхлой пашне		
$W_n = -2,93354 + 0,17607 \cdot I - 0,54931 \cdot a + 1,83138 \cdot O_t,$ $R^2 = 0,87$	$W_n = 2,03527 - 0,36741 \cdot I - 0,43363 \cdot a + 1,826 \cdot O_t,$ $R^2 = 0,86$	W_n – масса смытой почвы, т/га; I – уклон поверхности почвы, град.; a – запасы воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм; O_t – объем стока талых вод, мм	0,1–67,7
			0,5–9,0
			4,5–70,7
			1,7–44,9

Таблица 160 – Смыв почв ливневыми водами,

Математическая модель смыва почвы при ливнях	Обозначение показателя и единицы измерения
$W_n = -34,5025 + 9,7660 \cdot I + 10,5448 \cdot d + 7,0264 \cdot P_{in},$ $R^2 = 0,92$	W_n – масса смытой почвы, т/га; I – уклон, град.; d – водопроницаемость почвы, мм/мин; P_{in} – интенсивность осадков, мм/мин

Масса смытой почвы с мелиорируемых земель $W_{\text{мел.тв.ст.}}$ (т/га) определяется натурными наблюдениями общего стока, в т.ч. жидкой и твердой фазы стока и объемной массы твердого стока по формуле:

$$W_{\text{мел.тв.ст.}ij} = (O_{\text{мел.общ.ст.}ij} - O_{\text{мел.жидк.ст.}ij}) \cdot a, \quad (122)$$

где $W_{\text{мел.тв.ст.}ij}$ – масса смытой почвы с мелиорируемых земель, т/га;

$O_{\text{мел.общ.ст.}ij}$ – объем общего стока с мелиорируемых земель j -го хозяйствующего субъекта, м³;

$O_{\text{мел.жидк.ст.}ij}$ – объем стока с мелиорируемых земель, поступившего с поверхностным стоком с жидкой фазой с сельхозугодий j -го хозяйствующего субъекта, м³;

a – объемная масса твердого стока, т/м³.

Масса выноса i -го БЭ, поступившего с твердым стоком с мелиорируемых земель, определяется по формуле (121).

10.7 Расчет выноса биогенных веществ поверхностным стоком с водосбора хозяйствующего субъекта

Для определения доли ущерба от загрязнения ПВО поверхностным стоком непосредственно хозяйствующего субъекта достаточно провести только расчет выноса биогенных элементов с жидким стоком. При расчете наличия БЭ в почве необходимо учитывать и делать поправки на количество внесенных удобрений и их вынос с урожаем по годам с момента составления картограмм содержания биогенных веществ в почве и до расчетного случая загрязнения водного объекта. Расчетным методом масса i -го биогенного вещества в почвах j -го хозяйствующего субъекта определяется по формуле:

$$M_{\text{почв } ij} = \sum M_{\text{к}i} + \sum M_{\text{удобр.}i} - \sum M_{\text{урож } i}, \quad (123)$$

где $M_{\text{почв } ij}$ – масса i -го биогенного элемента в почве на момент проявления поверхностного стока с учетом внесенных удобрений и выноса элементов культурами j -ого хозяйствующего субъекта, кг д. в./га;

$M_{\text{к}i}$ – масса i -го биогенного элемента в почве по данным картограмм на момент их составления, кг д. в./га;

$M_{\text{удобр.}i}$ – масса i -го биогенного вещества, внесенного с минеральными и органическими удобрениями, кг д. в./га;

$M_{\text{урож } i}$ – урожайность сельскохозяйственных культур, т/га.

Средневзвешенная масса i -го биогенного элемента в почве рассчитывается по данным, взятым из картограмм $M_{\text{к}i}$ на момент их составления, для всех полей j -го хозяйствующего субъекта по формуле:

$$\sum M_{\text{к}i} = \frac{\sum (M_{\text{к}i} \cdot S_1 + M_{\text{к}i} \cdot S_2 + \dots + M_{\text{к}i} \cdot S_n)}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (124)$$

где $\sum M_{\text{к}i}$ – средневзвешенная масса i -го биогенного элемента в почве, т;

$S_1 + S_2 + \dots + S_n$ – площадь полей j -го хозяйствующего субъекта, га.

Количество внесенного в почву i -го биогенного элемента с минеральными и органическими удобрениями $\sum M_{\text{удобр.}i}$ для каждого j -го хозяйствующего субъекта или поля определяют как массу поступивших минеральных $\sum M_{\text{мин.удобр.}i}$ и органических удобрений $\sum M_{\text{орг.удобр.}i}$ в действующем веществе, кг д. в./га, по формуле:

$$\sum M_{\text{удобр.}i} = M_{\text{мин.удобр.}i} + M_{\text{орг.удобр.}i}. \quad (125)$$

Средневзвешенную массу поступившего в почву i -го элемента с минеральными удобрениями (в кг д. в./га) определяют как сумму внесенных удобрений по видам по формуле:

$$\sum M_{\text{мин.удобр.}i} = \frac{\Phi_{\text{м}1} \cdot D_i \cdot K_{\text{пот.уд.}} \cdot S_1 + \Phi_{\text{м}2} \cdot D_i \cdot K_{\text{пот.уд.}} \cdot S_2 + \dots + \Phi_{\text{м}n} \cdot D_i \cdot K_{\text{пот.уд.}} \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (126)$$

где $\sum M_{\text{мин.удобр.}i}$ – масса поступивших минеральных удобрений для хозяйствующего субъекта или поля, кг д. в./га;

$\Phi_{\text{м}1,2,\dots,n}$ – физическая масса вносимого удобрения на поле 1, 2 и n , кг д. в./га;

D_i – процентное содержание i -го биогенного элемента во вносимом удобрении, % д. в.;

$K_{\text{пот. уд}}$ – коэффициент потерь удобрений после внесения удобрений;

$S_1 + S_2 + \dots + S_n$ – площадь поля j -го хозяйствующего объекта, на которое внесли удобрения, га.

Потери биогенных веществ $K_{\text{пот. уд}}$ зависят от уровня технологии внесения удобрений (равномерность распределения по поверхности и глубине, способ заделки и пр.) определяются по таблице 161.

Таблица 161 – Коэффициент потерь удобрений

Вид удобрения	Уровень технологии		
	высокий	средний	низкий
Органическое	0,95	0,90	0,80
Минеральное	0,98	0,96	0,94

Поступление в почву i -го элемента с органическими удобрениями (кг д. в./га) определяют как сумму внесенных удобрений по видам по формуле:

$$\sum M_{\text{орг. } i} = (W_{\text{орг. уд.}} + W_{\text{вып.}}) \alpha_i \cdot \text{Орг}_i, \quad (127)$$

где $\sum M_{\text{орг. удобр. } i}$ – масса поступивших органических удобрений для хозяйствующего субъекта или поля, кг д. в. /га;

$W_{\text{орг. уд}}$ – средняя доза внесенного органического удобрения на поля, т/га;

$W_{\text{вып}}$ – среднее поступление органики при выпасе на пастбище, т/га;

α_i – содержание i -го биогенного элемента в навозе или помете в долях от выхода навоза (помета) (таблица А.6, приложение А);

Орг_i – количество i -го биогенного элемента, задерживаемого почвой при внесении 1 т органических удобрений, кг д. в./т (таблица А.7, приложение А);

Средневзвешенная доза внесенного органического удобрения по полям j -го хозяйствующего субъекта определяется по формуле:

$$W_{\text{орг. уд.}} = \frac{W_{\text{орг. уд. } 1} \cdot S_1 + W_{\text{орг. уд. } 2} \cdot S_2 + \dots + W_{\text{орг. уд. } n} \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (128)$$

где $W_{\text{орг. уд.}}$ – средняя доза внесенного органического удобрения на поля, т/га;

$W_{\text{орг. уд. } 1, 2, \dots, n}$ – доза органического удобрения, внесенная на поле 1, 2 и n , т/га;

$S_1 + S_2 + \dots + S_n$ – площадь поля 1, 2 и n , га.

Средняя доза поступления органики при выпасе скота на всех пастбищах (полях) j -го хозяйствующего субъекта определяется по формуле:

$$W_{\text{вып.}} = \frac{W_{\text{вып. } 1} \cdot S_1 + W_{\text{вып. } 2} \cdot S_2 + \dots + W_{\text{вып. } n} \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (129)$$

где $W_{\text{вып.}}$ – средняя доза поступления органики при выпасе на пастбище, т/га;

$W_{\text{вып. } 1, 2, \dots, n}$ – поступление органики при выпасе скота на пастбище 1, 2 и n , т/га;

$S_1 + S_2 + \dots + S_n$ – площадь j -го пастбища 1, 2 и n , га.

Поступление органики при выпасе скота на пастбище определяется по формуле:

$$W_{\text{вып. } 1} = \frac{M_n \cdot n \cdot t}{1000}, \quad (130)$$

где M_n – численность животных при выпасе на пастбище, голов;

n – выход экскрементов от одного животного, кг/сут (таблица А.5, приложение А);

t – период выпаса (время выпаса в часах в сутки умноженное на количество суток), сут;

1000 – коэффициент перевода кг в т.

Масса выноса i -го биогенного элемента с урожаем сельскохозяйственных культур $\sum M_{\text{урож.}i}$, (т/га) определяется как сумма удельного выноса i -го биогенного элемента (R_i) с площади, занятой сельскохозяйственной культурой по формуле:

$$\sum M_{\text{урож.}i} = \frac{\sum (R_{i-1} \cdot S_1 + R_{i-2} \cdot S_2 + \dots + R_{i-n} \cdot S_n)}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (131)$$

где R_{i-1} – удельный вынос i -го биогенного вещества j -ой культурой 1, 2 и n , т/га;

$S_1 + S_2 + \dots + S_n$ – площадь поля, занятая культурой 1, 2 и n , га.

В расчетах используют фактическую урожайность за прошлые годы и планируемое значение урожайности культуры текущего года. Площадь, занятую сельскохозяйственной культурой, определяют по фактическим данным о структуре посевных площадей в хозяйстве.

Удельный вынос i -го биогенного вещества с урожаем с площади, занятой сельскохозяйственной культурой R_i , определяют по формуле:

$$R_{i(\text{НРК})} = k_i \cdot Y_{\text{ф}} \cdot 10^{-3} \quad (132)$$

где $R_{i(\text{НРК})}$ – удельный вынос i -го биогенного вещества с площади, занятой сельскохозяйственной культурой, т/га;

k_i – вынос i -го биогенного вещества с урожаем сельскохозяйственной культуры, с 1 т основной и побочной продукции (таблица 162);

$Y_{\text{ф}}$ – фактическая урожайность сельскохозяйственной культуры, т/га;

10^{-3} – коэффициент перевода кг в т.

Таблица 162 – Коэффициенты выноса основных биогенных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур

Культура	Основная продукция	Вынос БЭ на 1 т основной продукции с учетом побочной, т		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5
Пшеница озимая	Зерно	0,030	0,013	0,025
Пшеница яровая	-//-	0,035	0,012	0,025
Рожь озимая	-//-	0,025	0,012	0,026
Ячмень	-//-	0,025	0,011	0,022
Овес	-//-	0,033	0,014	0,029
Рис	-//-	0,021	0,008	0,026
Кукуруза	-//-	0,034	0,012	0,037
Просо	-//-	0,033	0,010	0,034
Гречиха	-//-	0,030	0,015	0,040
Горох	Зерно	0,066	0,016	0,020
Вика	-//-	0,065	0,014	0,016
Люпин	-//-	0,068	0,019	0,047
Соя	-//-	0,071	0,016	0,018
Подсолнечник	Семена	0,060	0,026	0,186
Рапс озимый	-//-	0,049	0,023	0,030

Продолжение таблицы 162

1	2	3	4	5
Горчица белая	-//-	0,057	0,020	0,023
Клещевина	-//-	0,072	0,017	0,057
Лен-долгунец	-//-	0,106	0,053	0,093
Хлопчатник	Хлопок-сырец	0,045	0,015	0,050
Лен-долгунец	Волокно	0,080	0,040	0,070
Конопля	-//-	0,200	0,062	0,100
Свекла сахарная	Корнеплоды	0,006	0,0018	0,0075
Картофель	Клубни	0,0062	0,0022	0,0095
Свекла кормовая	Корнеплоды	0,0049	0,0015	0,0067
Турнепс	-//-	0,0048	0,0017	0,0057
Морковь кормовая	-//-	0,0052	0,0019	0,0060
Брюква	-//-	0,0055	0,0031	0,0077
Морковь столовая	-//-	0,0032	0,0016	0,0050
Капуста белокочанная	Кочаны	0,0033	0,0013	0,0044
Помидоры	Плоды	0,0026	0,0004	0,0036
Огурцы	-//-	0,0017	0,0014	0,0026
Лук	Луковицы	0,003	0,0012	0,004
Плодовые и ягодные культуры	Плоды и ягоды	0,005	0,003	0,006
Виноград	Ягоды	0,0017	0,0014	0,005
Чай	Лист на сухое вещество	0,050	0,007	0,023
Кукуруза на силос	Надземная масса	0,0025	0,0015	0,0050
Клевер	Сено	0,0197	0,0056	0,015
Люцерна	-//-	0,0260	0,0065	0,015
Тимофеевка	-//-	0,0155	0,007	0,024
Вика	-//-	0,0227	0,0062	0,010
Естественные сенокосы	-//-	0,0170	0,007	0,018

Масса i -го биогенного элемента, унесенного с жидкой фазой поверхностного стока с полей j -го хозяйствующего объекта, определяется по формуле:

$$M_{\text{вын.}i} = M_{\text{почв}i} \cdot K_{\text{вын}i} \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot K_{\text{комп}}, \quad (133)$$

где $M_{\text{вын.}i}$ – масса i -го биогенного элемента, вынесенного с поля (сельхозугодий) хозяйствующего субъекта, т;

$M_{\text{почв}i}$ – средняя расчетная масса i -го биогенного элемента в почве на момент проявления поверхностного стока, кг/га;

$K_{\text{вын}i}$ – коэффициент выноса i -го биогенного элемента с жидкой фазой (таблицы 157 и 158);

10^{-3} – коэффициент перевода кг в т;

S – общая площадь полей j -го хозяйствующего субъекта, га;

$K_{\text{комп}}$ – компенсационный коэффициент стока.

10.8 Расчет снижения объемов поверхностного стока и массы загрязняющих веществ от применения природоохранных компенсационных мероприятий

Применение компенсационных мероприятий обеспечивает снижение объемов поверхностного стока талых и ливневых вод, а вместе с ними и массы ЗВ, попадающих в ПВО. Эффективность применения компенсационных мероприятий оценивается через ряд компенсационных коэффициентов, которые необходимы для разграничения ответственности землепользователей, находящихся на одном водосборе за ущерб нанесенный ПВО.

Коэффициент компенсации является комплексным показателем оценки снижения объемов поверхностного стока талых и ливневых вод в зависимости от применяемых компенсационных мероприятий и определяется как произведение поправочных коэффициентов, характеризующих наиболее важные факторы, влияющие на поверхностный сток с соответствующей площади сельхозугодий, учитывающие как природные условия, так и природоохранные мероприятия на соответствующем водосборе (или части водосбора). Он рассчитывается:

- для талых вод по формуле (96):

$$K_{\text{комп.ст.}} = K_{\text{п}} \cdot K_L \cdot K_{\text{ов}} \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{ук}} \cdot K_{\text{агр}} \cdot K_{\text{лес}} \cdot K_{\text{гтс}} \cdot K_{\text{эр}} \cdot K_{\text{вл}},$$

- для дождевых вод по формуле (97):

$$K_{\text{комп.ст.}} = K_{\text{п}} \cdot K_L \cdot K_{\text{ов}} \cdot K_{\text{пп}} \cdot K_{\text{ук}} \cdot K_{\text{агр}} \cdot K_{\text{лес}} \cdot K_{\text{гтс}} \cdot K_{\text{эр}} \cdot K_{\text{вл}},$$

где $K_{\text{комп.ст.}}$ – компенсационный коэффициент стока;

$K_{\text{п}}$ – поправочный компенсационный коэффициент, учитывающий тип почв по гранулометрическому составу (таблица 153);

K_L – поправочный компенсационный коэффициент, учитывающий удаленность сельскохозяйственного угодья от водотока, определяется по уравнению регрессии $K_L = 2,2758 \cdot e^{-0,6663x}$ при $R^2 = 0,93$ или (таблица А.8, приложение А);

$K_{\text{ов}}$ – коэффициент, учитывающий насыщенность овражной сетью, определяется по уравнению регрессии $K_{\text{ов}} = 0,0568 \cdot x^2 + 0,3629 \cdot x + 0,7233$ (таблица А.9, приложение А);

$K_{\text{уп}}$ – коэффициент, учитывающий условия стока талых вод по уплотненной пашне и зяби, определяется по многокритериальным зависимостям (таблица А.10, приложение А);

$K_{\text{пп}}$ – коэффициент, учитывающий степень проективного покрытия поверхности почвы растениями, влияющего на сток дождевых вод, определяется по уравнению регрессии $K_{\text{пп}} = -0,1906 \cdot \ln(x) + 0,8676$ (таблица А.11, приложение А);

$K_{\text{ук}}$ – поправочный коэффициент на сток талых и дождевых вод, учитывающий уклон местности, определяется по уравнениям регрессии, приведенным в таблице А.12 приложения А;

$K_{\text{агр}}$ – компенсационные агротехнические мероприятия (таблица 170);

$K_{\text{лес}}$ – коэффициент, учитывающий компенсационные лесомелиоративные мероприятия, определяется по уравнениям регрессии для полевых и прибалочных лесополос, которые приведены в таблице 111;

$K_{\text{гтс}}$ – коэффициент, учитывающий компенсационное влияние на сток простейших гидротехнических сооружений (таблица 112).

$K_{\text{эр}}$ – поправочный коэффициент на эрозионный потенциал (предлагается определять по Н. И. Хрисанову, Г. К. Осипову [230]) по формуле:

$$K_{эп} = (L/22/1)^m \cdot (0,065 + 4,56 \cdot q + 65,4 \cdot q^2) \quad (134)$$

где L – длина склона, м;

m – показатель степени, равный: при уклонах соответственно менее 1 % = 0,21; 3 % = 0,3; 3 – 5 % = 0,4 и более 5 % = 0,5;

q – уклон рельефа, %;

$K_{вл}$ – поправочный коэффициент, учитывающий степень увлажнения почвы перед дождем.

Можно определять $K_{вл}$ (K_t) по уравнению А. Н. Костякова [231]:

$$K_t = K_0 \cdot t^{-a} \quad (135)$$

где K_t – интенсивность впитывания в момент t , определяется по зависимости, полученной исполнителями: для сухой почвы $Y_{сух} = 33,803 \cdot x^{-0,3668}$ при $R^2 = 0,89$ и для увлажненной почвы $Y_{вл} = 44,184 \cdot t^{-0,5778}$ при $R^2 = 0,97$;

K_0 – интенсивность впитывания в начале впитывания;

a – коэффициент затухания скорости впитывания в зависимости от свойств почв и их исходной влажности, составляет: 0,8 для глинистых почв, 0,5–0,6 для суглинистых, 0,4 – супесчаных, 0,3 – песчаных и 0,2 для торфа (торфянистых почв).

При отсутствии у землепользователя почвоохранных мероприятий на сельскохозяйственных землях влияющих на соответствующий компенсационный коэффициент, то такой коэффициент принимается равный 1,0, т. е. принимается условие, что этот фактор не оказал влияние на снижение коэффициента стока. Например, если ГТС на сельскохозяйственных землях отсутствуют, то компенсационный коэффициент $K_{гтс}$ принимается равным 1,0, т. е. коэффициент стока не регулируется, и он не изменяется.

Коэффициенты $K_{уп}$, $K_{пп}$, $K_{ук}$, $K_{агр}$, $K_{лес}$ и $K_{гтс}$ определяются отдельно для каждого поля и землепользователя как средневзвешенные величины. Например,

$$K_{уп} = (K_{уп1} \cdot S_1 + K_{уп2} \cdot S_2 + \dots + K_{упnj} \cdot S_n) / S_j,$$

где $K_{упnj}$ – коэффициент уплотненности пашни (рыхлая пашня – это зябь или вспашка, уплотненная пашня – имеются посевы озимых культур или многолетних трав) для 1, 2, ..., n -го поля по культурам для каждого j -го землепользователя (таблица А.10, приложение А);

$S_{1...n}$ – площадь, занятая 1, 2, ..., n -ой культурой, га;

S_j – площадь, занятая всеми культурами j -го хозяйствующего субъекта, га.

10.9 Разграничение ответственности землепользователей за ущерб, нанесенный поверхностным водным объектам

Общий ущерб $Y_{общ}$, рассчитанный для водосбора с несколькими j -ми землепользователями, состоит из ущерба, нанесенного каждым землепользователем, и определяется по формуле:

$$Y_{общ} = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n, \quad (136)$$

где $Y_{общ}$ – общий ущерб с водосбора, тыс. руб.;

Y_1, Y_2, \dots, Y_n – ущерб, нанесенный отдельными j -ми землепользователями, тыс. руб.

Разграничение ответственности за ущерб Y_1, Y_2, \dots, Y_n , нанесенный водно-

му объекту, производят путем распределения общего ущерба пропорционально массе ЗВ, поступивших с земель сельскохозяйственного использования каждого землепользователя $M_{i,n}$ данного водосбора.

Общая масса $M_{\text{вын.}i}$ вынесенного i -го биогенного элемента с жидкой фазой поверхностного стока со всего водосбора определяется по формуле:

$$\sum M_{\text{вын.}i} = M_{\text{вын.}i-1} + M_{\text{вын.}i-2} + M_{\text{вын.}i-n}, \quad (137)$$

где $\sum M_{\text{вын.}i}$ – масса вынесенного i -го биогенного элемента с жидкой фазой поверхностного стока со всего водосбора, т;

$M_{\text{вын.}i-n}$ – масса выноса i -го биогенного элемента с поверхностным стоком с полей j -го землепользователя, т.

Средневзвешенный ущерб на 1 т i -го БЭ, внесенного жидкой фазой поверхностного стока с водосбора, определяется по формуле:

$$Y_{\text{ср}} = \frac{Y_{\text{общ.}}}{\sum M_{\text{вын.}i}}. \quad (138)$$

Ущерб, нанесенный одним землепользователем, определяется по формуле:

$$Y_n = Y_{\text{ср}} \cdot M_{\text{вын.}i-n}. \quad (139)$$

Ущерб, нанесенный несколькими j -ми хозяйствующими субъектами (землепользователями), определяется по формуле:

$$Y_n = Y_{\text{ср}j} \cdot M_{\text{вын.}ij}. \quad (140)$$

Сумма ущерба всех землепользователей должна быть равна общему ущербу.

Примеры расчетов приведены в приложении Б.

Расчеты по исчислению ущерба производятся разработанными автоматизированными моделями расчета массы ЗВ и ущерба.

11 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РАЗМЕРА УЩЕРБА ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ

11.1 Концепция назначения компенсационных мероприятий

Концепция ведения земледелия с назначением компенсационных мероприятий по снижению ущерба от поверхностных стоков должна базироваться на законах и закономерностях устойчивого высокопродуктивного функционирования агроэкосистем, обеспечивающих системный подход к применению комплекса мероприятий на ландшафтной основе. За счет организации рационального функционирования биологического и биогеохимического круговорота веществ в агроландшафте стабилизируется и, по возможности, улучшается агроэкологическое состояние земель, водных объектов [21].

Основой системы земледелия на ландшафтном уровне с назначением компенсационных мероприятий является оптимальная структура угодий и рациональная почвоводоохранная организация территории.

При оптимизации структуры угодий в агроландшафтах решаются вопросы рационального использования земель сельскохозяйственного назначения, лесных угодий и выделяются: охранные зоны рек и водоемов, места обитания животных, редких исчезающих растений, земли существующего и перспективного природоохранного фонда, зоны рекреационного назначения, участки расположения полезных ископаемых, предусматривается мелиорация и консервация земель. Важной предпосылкой агроландшафтного обоснования при реализации стратегии адаптивного землеустройства является агроэкологическая типизация и зонирование земель по ресурсам тепла, влаги, почвенного плодородия, интенсивности эрозионных, дефляционных и других деградиционных процессов. Для каждого агроландшафта соотношение природно-хозяйственных угодий должно быть индивидуальным. Принципиально важно не только определить оптимальное соотношение угодий, но и оптимальную структуру их размещения на территории [19].

В условиях резких балансовых изменений в структуре агроландшафтов снижение или предотвращение отрицательных последствий интенсивного ведения сельскохозяйственного производства возможно путем оптимизации параметров и соотношений его составных частей, и в первую очередь пашни, сенокосов, пастбищ и других угодий. После выделения земель сельскохозяйственного назначения формируются противоэрозионная, противодефляционная инфраструктуры, определяются способы, приемы, технологии мелиорации земель. Осуществляется подбор культур, формируются севообороты, разрабатываются технологии возделывания сельскохозяйственных культур, адаптированные к местным почвенно-климатическим, рельефным и гидрологическим условиям, совершенствуется структура посевных площадей.

В основу назначения компенсационных мер адаптивно-ландшафтных систем земледелия положены следующие основные принципы [19, 228]:

1 Системный подход к построению. Предполагает целостный (системный) комплекс технологических воздействий, который действует в агроэкосистемах разного уровня организации, имеет множественные связи и направлен на снижение поверхностного стока до контролируемого уровня, сохранение и восстановление плодородия почв, охрану окружающей среды, получение стабильной урожайности сельскохозяйственных культур. Комплексы компенсационных мероприятий (агротехнологии, система лесных насаждений, лугомелиорация, создание простейших гидротехнических сооружений) органично вписываются в принципиальный каркас агроак-

валандшафта с учетом особенностей его морфогенетической и позиционно-динамической структуры, геохимической организации, взаимосвязи действующих процессов;

2 Адаптивность технологических воздействий к условиям местности (рельефу, почве, климату). Основывается на необходимости тщательного подбора компенсационных мероприятий к природным (ресурсным) особенностям основных структурных элементов агроакваландшафта;

3 Нормативная предопределенность. Вытекает из целесообразности уровней антропогенных воздействий на агроакваэкосистемы с целью избежания активации неравновесных, необратимых процессов в них и поддержания агроландшафта в экологически устойчивом состоянии;

4 Пространственно-функциональная неоднородность. Обусловлена необходимостью поддержания экологической полифункциональности – многообразия типов и уровней связей как в пределах агроэкосистем, так и между агросистемами разного типа: пашней, лесом, лугом, водными объектами. Предусматривает поддержание биоразнообразия и создание искусственной инфраструктуры средостабилизирующего назначения;

5 Природоохранная направленность. Необходимость применения системы компенсационных мер, которые позволят свести до допустимых пределов потери почвы от эрозионных, дефляционных процессов, исключить загрязнение дренажных и поверхностных вод, сопредельных экосистем нежелательными элементами, веществами, уберечь водные источники от различных видов загрязнения.

В связи с вышеизложенным, основными направлениями в назначении компенсационных мероприятий на сельскохозяйственных угодьях (в системе адаптивно-ландшафтного земледелия) являются:

- формирование агроакваландшафтов как единства природных и хозяйственных компонентов с использованием (и восстановлением) в агроэкосистемах базовых элементов саморегуляции. Средством рационального управления режимами функционирования агроландшафтов выступает система компенсационных мероприятий, ориентированная на достижение агроэкологически допустимого компромисса между природным потенциалом земель и социально экономически обусловленным характером сельскохозяйственного производства [228];

- дифференциация земель по функционально-целевому назначению, поддержание экологической полифункциональности морфологически и генетически неоднородных элементов агроландшафта, обеспечивающей средостабилизацию, средовосстановление и биоразнообразие (оптимальное соотношение угодий – пашня, луг, лес, водные и другие объекты, природоохранная инфраструктура – ремизы, рекреации, заповедники);

- типизация земель по ресурсам почвенного плодородия, тепла, влаги с целью эффективного использования ресурсного потенциала каждого конкретного участка земель в единой системе компенсационных мер снижения поверхностного стока;

- создание экологически безопасной конструкции агроландшафта; формирование эколого-стабилизирующих рубежей, противоэрозионной и противодефляционной инфраструктур с учетом экологической емкости агроландшафта, интенсивности эрозионных, других деградационных процессов;

- рациональное размещение культур в пространстве (по территории землепользования) и во времени, исходя из особенностей агроландшафта и потенциала растений; адаптивный подбор культур и технологий их возделывания к местным условиям (рельефу, почвам, тепловлагообеспеченности);

- нормативная обеспеченность технологических воздействий на почву, растения и атмосферу для получения определенного объема продукции и сохранения экологической устойчивости агроэкваландшафта; формирование базы агроэкологических ограничений;
- мониторинг и ресурсно-экологическая оценка агроландшафта.

11.2 Типизация земель

С целью рациональной организации сельскохозяйственных угодий, соответствующих определенному набору сельскохозяйственных культур, различающихся между собой различной интенсивностью поверхностного стока, необходимо разделить территорию на разные категории использования. При этом каждая категория характеризуется признаками агроландшафтных экосистем по общности:

- однообразия качественного состояния почв;
- характера и степени увлажнения;
- однообразия температурного режима;
- интенсивности проявления поверхностного стока;
- системы компенсационных мероприятий.

В разделе категорий земли подразделяют на весьма интенсивное, интенсивное, умеренное, ограниченное, весьма ограниченное, пахотонепригодные и неиспользуемые.

Для осуществления типизации земель проводят следующие виды работ:

1 На крупномасштабном плане землепользования с горизонталями выделяются все видимые временные и постоянные водотоки и их водосборы (бассейны). Если на рассматриваемом водосборе уклоны не превышают 3° , экспозиция принимается относительно ориентированности водостока (тальвега лощины, ложбины). Противоположно ориентированные склоны элементарных водосборов (лощинных, балочных, долинных, ложбинных) с крутизной свыше 3° подразделяются на отдельные водосборные площади – с учетом их экспозиции;

2 В пределах выделенных водосборных площадей, бассейнов оконтуриваются участки по крутизне (менее 1° , $1-3^\circ$, $3-5^\circ$, $5-7^\circ$, $7-10^\circ$, $10-15^\circ$, $15-20^\circ$, более 20°). Для каждого участка с учетом экспозиции и крутизны склонов рассчитываются суммарная радиация и запасы доступной влаги за вегетационный период и средневзвешенные показатели по водосборам;

3 Составляется классификация земель по суммарной радиации ($\text{ккал}/\text{см}^2$) и запасам продуктивной влаги в 0–100 см слое почвы (мм) за вегетационный период. Нормативы извлекаются из местных агроклиматических справочников. Классификация выполняется методом простой группировки с разделением массива данных на три класса (при необходимости – на пять). Согласно классификации изготавливаются картограммы, условно разделяющие на локальном уровне все земли на «нейтральные», «теплые», «холодные», «влажные», «сухие».

Осуществляют дифференциацию земель по эрозионной опасности. Для этой цели составляется картограмма потенциальной опасности земель. Методика оценки эрозионной опасности земель изложена в Методических указаниях по проектированию противоэрозионной организации территории при внутрихозяйственном землеустройстве в зонах проявления водной эрозии, но при этом должна учитываться специфика местных условий.

Расчет потенциального смыва почвы поверхностным стоком выполняется в разрезе элементов водосборов, по агроландшафтным полосам в связи с факторами: для талых вод – с уклоном, запасами воды в снеге, объемом стока, коэффициен-

тами стока; для дождевых вод – с уклоном, водопроницаемостью почвы, интенсивностью осадков и коэффициентом стока (таблица 163).

Таблица 163 – Масса смыва почвы с поверхностным стоком на агроландшафтных полосах на черноземе обыкновенном

Агроландшафтная полоса	Крутизна склона, град.	Масса смыва почвы, т/га	
		Уплотненная пашня	Рыхлая пашня
Талые воды			
1-я приводораздельная	0,5–2,5	$W_{п} = -2,93354 + 0,17607 \cdot I - 0,54931 \cdot a + 1,83138 \cdot O_{т}$ при $R^2 = 0,87$	$W_{п} = 2,03527 - 0,36741 \cdot I - 0,43363 \cdot a + 1,826 \cdot O_{т}$ при $R^2 = 0,86$
2-я склоновая	2,6–5,0		
3-я присетьевая	Более 5,0		
Дождевые воды			
1-я приводораздельная	0,5–2,5	$W_{п} = -34,5025 + 9,7660 \cdot I + 10,5448 \cdot d + 7,0264 \cdot P_{ин}$ при $R^2 = 0,92$	
2-я склоновая	2,6–5,0		
3-я присетьевая	Более 5,0		
Балки, овраги, пруды и пр.	–	–	Осаждение твердого стока
Примечание - $W_{п}$ – масса смываемой почвы, т/га; I – уклон; град.; a – запасы воды в снеге, мм; $O_{т}$ – объем стока талых вод, мм; d – водопроницаемость почвы, мм/мин; $P_{ин}$ – интенсивность дождя, мм/мин.			

В зависимости от типа почвы и ее гранулометрического состава необходимо вводить поправочные коэффициенты, так как в качестве контроля приняты средне- и тяжелосуглинистые черноземы выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные и каштановые почвы.

При изменении гранулометрического состава и типа почв коэффициент стока изменяется (см. таблицу 153).

Для этого на плане хозяйства наносят наиболее характерные линии стока (из расчета 5 линий на 100 га). Линии стока делят на 100-метровые отрезки, доля которых определяет уклон в %, а также классификационные положения почв до уровня разновидности, степень смытости и другие факторы, и по уравнениям связи и данным таблиц 153, 163, определяют сток и смыв почвы.

Эти расчеты можно проводить другим способом, но более трудоемким.

Расчет потенциального смыва от стока талых вод (ливневых дождей) выполняют по эмпирической зависимости:

$$\mathcal{E}_{т(л)} = K_{т(л)} \cdot R_{об} \cdot \Pi \quad (141)$$

где $\mathcal{E}_{т(л)}$ – потенциальный смыв от стока талых вод (ливневых дождей), т/га;

$K_{т(л)}$ – эродирующая способность стока талых вод (ливневых дождей), т/га на единицу эрозионного потенциала талых вод (ливневых дождей);

$R_{об}$ – обобщенный коэффициент эрозионного потенциала рельефа;

Π – коэффициент относительной смываемости почв.

Коэффициент эродирующей способности стока талых вод обуславливается

зональными особенностями и для эрозионных зон Ростовской области может быть принят:

- I – 0,090;
- II – 0,115;
- III – 0,130;
- IV – 0,120;
- V – 0,065.

Коэффициент эродирующей способности стока ливневых дождей для Ростовской области колеблется в пределах 0,09.

Обобщенный коэффициент эрозийного потенциала рельефа $R_{об}$ целесообразно определять с учетом поправок на профиль и экспозицию склона:

$$R_{об} = R \cdot K_3 \cdot K_n, \quad (142)$$

где R – коэффициент эрозионного потенциала рельефа;

K_3 – поправочный коэффициент на степень эродированности почвы (таблица 164);

K_n – поправочный коэффициент на поперечный профиль склона.

Таблица 164 – Коэффициент влияния степени смытости почвы на сток

В мм

Почва	При слое стока дождевых вод							При снего-таянии
	5	5–10	11–15	16–20	21–30	31–40	41–50	
Несмытая	1	1	1	1	1	1	1	1
Слабосмытая	1,02	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,05
Среднесмытая	1,08	1,12	1,16	1,20	1,24	1,28	1,32	1,12
Сильносмытая	1,18	1,23	1,28	1,35	1,40	1,45	1,50	1,18

Поправочный коэффициент на экспозицию склона, например для степной зоны, следующий: северная – 1,23, восточная – 0,80, южная – 0,85, западная – 1,15, и соответственно форма поперечного профиля склона: прямая – 1,00, рассеивающая – 0,80, собирающая – 1,20.

Коэффициент эрозионного потенциала для рельефа определяется по уравнению:

$$R = I^\alpha [n^{1+\alpha} (n-1)^{1+\alpha}] \cdot i_h^{1,45}, \quad (143)$$

где I – длина отрезка, м;

α – показатель степени при длине;

n – порядковый номер отрезка;

i_h – уклон отрезка, %.

Показатель степени α при длине I зависит от уклона отрезка следующим образом (таблица 165) [132].

Таблица 165 – Показатель степени α при длине I в зависимости от уклона

Уклон, %	Показатель степени α
Меньше 1	0,2
1–3,5	0,3
3,5–5	0,4
Больше 5	0,5

Все необходимые данные для определения эрозионного потенциала рельефа по отрезкам снимаются с топографической основы.

За длину склона принимается расстояние от водораздела до места отложения наносов или до днища (тальвега) ложбины, балки, поймы реки, бровки оврага.

По величине расчетного смыва почвы, производимого стоком талых вод и ливней, участки пашни и других сельскохозяйственных угодий, размещенных на оцениваемых водосборах, группируются в семь классов эрозионной опасности.

Картограмма потенциальной эрозионной опасности земель сравнивается с картограммой агропроизводственной группировки почв и используется для составления картограммы первичных территориальных единиц агроландшафта.

11.3 Проектирование первичных территориальных единиц агроландшафта

Выбор элементарной структурной единицы агроландшафта для проектирования компенсационных мероприятий по снижению поверхностного стока в системе ландшафтного земледелия зависит от многих факторов. Согласно разработкам ВНИИЗиЗПЭ, фация не может служить такой единицей, т. к. их на земной поверхности великое множество и изучить каждую в отдельности практически невозможно. В условиях возделывания ограниченного набора сельскохозяйственных культур на больших площадях невозможно определить фацию. Поэтому в агроландшафтах наиболее приемлемой элементарной единицей может быть почвенная разновидность [132].

Однородные по типичности технологического воздействия и адаптивности культур к этим условиям почвенные разновидности объединяются в агроландшафтный контур, который на практике может представлять рабочий участок. Относительно однородные агроландшафтные контуры по генетическим, геоморфологическим, гидрологическим признакам и микроклиматическим условиям объединяются в агроландшафтные массивы, на основе которых и формируются поля севооборотов. В условиях интенсивного движения водных, воздушных горизонтальных потоков, с целью предотвращения и исключения негативных процессов в результате их воздействия на почву, микроклимат и в целом на окружающую среду, в агроландшафтных массивах выделяют агроландшафтные полосы по критерию интенсивности потоков.

Выделение структурных единиц агроландшафта целесообразно производить по принципу от общего к частному: агроландшафтные – массив-полоса-контур, или от частного к общему: массив-контур, агропроизводственная группировка почвенных разновидностей в контуры, массивы, а проектирование систем земледелия, связанных с определением набора культур, их чередование, технологии возделывания по принципу от частного к общему – контур – полоса – массив. Сначала выделяются и группируются земли по уровню поступления суммарной радиации, затем с учетом режима увлажнения определяются однородные массивы земель, после чего выделяются контуры по различиям в плодородии почв и культуртехническому состоянию земель.

С учетом конкретных условий поконтурно или для группы однородных контуров определяется набор культур, их чередование, технология возделывания.

Несколько иной подход в выделении под проектирование первичных территориальных единиц предлагает М. Н. Лопырев [133]. В частности, при формировании таких единиц их необходимо совмещать с выделением экологически однородных участков в увязке с необходимой сетью лесных полос, обеспечения формы и размера участков для механизированных работ, дорожной сетью.

Таким образом, при устройстве агроландшафтов расчленение территории не сводится к выделу «рабочих участков» лишь для борьбы с эрозией. В связи с этим предлагается ввести новый термин – «агрофация».

К ней предъявляются следующие требования:

1 Выделение экологически однородных участков (агрофаций) по пищевому, водному, тепловому и ветровому режимам.

Все это в значительной мере учитывается в картограммах классов земель по эрозионной опасности. Они используются в проектировании экологически однородных участков. Выделенные на плане названные участки часто представляют собой территориальные полосы, именуемые «ландшафтными полосами»;

2 Формирование агрофаций в большой мере зависит от сети лесных полос, кустарниковых кулис и других мелиоративных элементов. От них зависит ширина и длина экологически однородных выделов;

3 Производительное использование сельскохозяйственной техники и обеспечение полевой дорожной сетью. При окончательном формировании агрофаций длинные ландшафтные полосы (более 1500–2000 м) делятся поперек с целью создания рациональных участков для обработки и удобного их хозяйственного обслуживания.

Агрофации располагаются вдоль горизонталей (поперек склона) и имеют вид вытянутых ландшафтных полос, используемых дифференцировано в соответствии с системой компенсационных мероприятий. По условиям механизации площади агрофаций не лимитируются. Однако желательно иметь площадь не менее сменной нормы выработки на вспашке, т. е. 5 га.

При проектировании агрофаций в разрезе перечисленных требований выполняются необходимые гидротехнические расчеты по предотвращению поверхностного стока, учитываются способы и правила размещения лесных полос и других биологических и технических элементов территории, агромероприятия, влияние уплотненности пашни на сток талых вод (таблица 166) и степени проективного покрытия поверхности почвы растениями на сток дождевых (ирригационных) вод (таблица 167).

Таблица 166 – Влияние уплотненности пашни на поверхностный сток $K_{уп}$

Математическая модель	Обозначение показателя и единицы измерения
<p>Для уплотненной пашни $K_{уп} = -0,653773 + 0,015459 \cdot a - 0,001979 \cdot b + 0,003283 \cdot c + 0,307516 \cdot d$, при $R^2 = 0,84$.</p> <p>Для зяби (рыхлой пашни) $K_{уп} = -2,03816 + 0,01215 \cdot a - 0,00406 \cdot b + 0,03570 \cdot c + 0,64158 \cdot d$, при $R^2 = 0,97$</p>	<p>$K_{уп}$ – коэффициент стока талых вод для уплотненной пашни и зяби; <i>a</i> – запасы воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм; <i>b</i> – глубина промерзания почвы, см; <i>c</i> – влажность верхнего 0–30 см слоя почвы, %; <i>d</i> – водопроницаемость почвы в период стока, мм/мин</p>
<p>Дождевые воды по пару (зяби) $K_{уп} = 0,014063 + 0,090330 \cdot I - 0,056097 \cdot d + 0,063346 \cdot P_{ин}$, при $R^2 = 0,97$</p>	<p>$K_{уп}$ – коэффициент стока дождевых вод по зяби; <i>I</i> – уклон, град; <i>d</i> – водопроницаемость почвы, мм/мин; <i>P_{ин}</i> – интенсивность осадков, мм/мин</p>

Поля севооборотов могут составляться как из смежных агрофаций, так и из несмежных из-за мозаичности факторов, определивших рассредоточенное расположение разных агроландшафтных полос, из которых формировались агрофации.

Таким образом, мы имеем разный подход к проектированию первичных тер-

риториальных единиц агроландшафта. В одном случае преобладает почвенный, в другом – ландшафтный. По нашему мнению, выбор должен определяться типом агроландшафта и местными почвенно-климатическими условиями.

Таблица 167 – Поправочный компенсационный коэффициент $K_{\text{мп}}$ на степень проективного покрытия поверхности почвы растениями, для дождевых (ирригационных) вод

Величина проективного покрытия X , %	Культура или агрофон	$K_{\text{мп}}$	Уравнение регрессии
0	Чистый пар	1,00	$K_{\text{мп}} = -0,19066 \cdot \ln(x) + 0,9002$ при $R^2 = 0,89$
10–20	Пропашные	0,45	
20–30	Пропашные	0,35	
30–40	Пропашные	0,17	
20–40	Яровые колосовые	0,30	
30–50	Озимые колосовые	0,16	
40–60	Однолетние травы	0,10	
60–80	Многолетние травы	0,04	

При плакорно-равнинном типе агроландшафта в основу должно быть положено плодородие почв, что нашло отражение в агропроизводственной группировке. Агрогруппа объединяет близкие по плодородию почвы и на ее основе выделяют агроландшафтные массивы. Из выделенных агро массивов формируются поля севооборотов, на которых в зависимости от интенсивности проявления поверхностного стока разрабатывается противозероэрозийная организация территории и технологические основы систем земледелия на адаптивно-ландшафтной основе.

Так как адаптивно-ландшафтные системы земледелия разрабатываются для различных типов агроландшафтов, а в условиях степной зоны, где ложбинно-балочные, балочно-овражные, овражно-балочные и овражно-полевые являются преобладающими, то выбор для них элементарной территориальной единицы имеет определяющее значение (рисунок 188). Исходя из этого, первичная территориальная единица для данных типов агроландшафтов должна отвечать следующим требованиям:

- четко выделять границы;
- представлять единую функциональную систему элементов агроландшафта;
- обеспечивать оценки режима функционирования и осуществлять контроль за ним.

Указанным требованиям отвечают элементарные водосборы, принадлежащие к тому или иному элементу гидрографической сети.

Устройство поверхности Земли представлено системой водосборов, начиная от ложбинного и кончая водосбором крупной реки. Все многообразие водосборов, по меткому выражению В. М. Володина [131], подчиняется принципу «матрешки» со строгим взаимодействием и взаимовлиянием от меньшего к большему и наоборот.

Территориальной технической единицей первого порядка можно принять ложбинный водосбор. Ложбинные водосборы сопряжены с водосборами высших порядков (лощинный, балочный, долинный и т. д.). В выделенных водосборах производится оценка ресурсного потенциала, и определяются способы рационального использования территории.

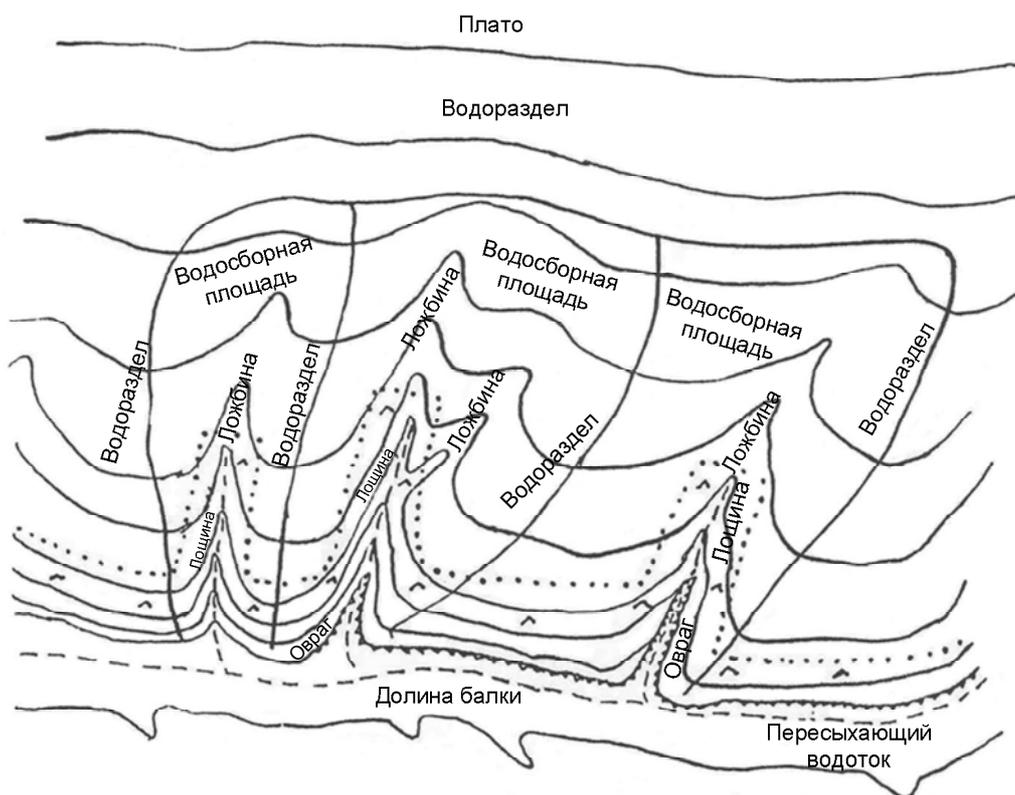


Рисунок 188 – Фрагмент расположения элементов прибалочного ландшафта

Расположение водосборов высшего порядка в пределах территории рассматриваемого хозяйства может быть различным:

- когда вся площадь водосбора располагается в пределах данного хозяйства;
- когда вершинные (водораздельные) части водосбора находятся за пределами данного хозяйства;
- когда основная (большая) часть территории водосбора находится за пределами данного хозяйства.

Поэтому в каждом конкретном случае следует исходить из одного общего требования, а именно – определять, какое может оказать влияние прилегающая территория водосбора на рассматриваемый участок (массив). Это позволит максимально учесть возможные отрицательные воздействия запредельной территории водосбора, предусмотреть соответствующие мероприятия по исключению или сведению их до минимума.

В пределах водосборных площадей вычисляется также расчлененность овражно-балочной сетью и дается их характеристика: густота оврагов ($\text{км}/\text{км}^2$), плотность оврагов ($\text{шт.}/\text{км}^2$), овражность ($\text{га}/\text{км}^2$), степень выраженности оврагами.

Особую значимость для полной характеристики эрозионного состояния водосбора имеют сведения по характеристике оврагов и балок в разрезе их типов: донные, вершинные, береговые и склоновые, а также по их эрозионному состоянию: растущие, затухающие и прекратившие рост. Кроме этих сведений приводятся данные о длине, ширине и площади каждого оврага, что позволит определить эрозионную расчлененность территории.

После определения границ водосборных площадей овражно-балочных систем и их характеристики приступают к выделению агроландшафтных полос (контуров). Необходимость их выделения обуславливается требованиями высокой степени тер-

риториальной адаптации элементов, из которых будет представлен комплекс компенсационных мероприятий.

Это достаточно сложный этап проектирования, т. к. при определении границ и размеров агроландшафтных полос необходимо внимательно изучить их эрозионно-ландшафтную характеристику: агропроизводственную группировку почв, степень эродированности, дефлированности, экспозиции склонов и уклон в градусах, типы склонов. Основными материалами, которые необходимо брать за основу при определении и выделении агроландшафтных полос, являются: почвенная карта, карта агрогруппировки почв, карта эрозии и другие материалы, раскрывающие особенности каждого конкретного участка. В качестве дополнительного материала могут быть использованы характеристики пораженности территории водосбора, хозяйства, административных районов и почвенно-эрозионных зон эрозионными процессами по процентному соотношению степеней смывности почв.

Дело в том, что каждая конкретная степень эродированности занимает определенное положение в современном агроландшафте, располагаясь в виде поясов или полос различной ширины на склонах определенной крутизны.

Исследования, проведенные в степной зоне юга Европейской территории РФ, позволили выявить общую тенденцию в пространственном размещении поясов смытых почв. Так, слабосмытые почвы занимают склоны от $0,5-0,8^\circ$ до $2,5-3,0^\circ$. Ширина полосы, занимаемая слабосмытыми почвами, составляет в среднем 480–550 м. Среднесмытые почвы занимают преимущественно склоны от 3° до 5° , ширина полос этих почв колеблется в пределах от 150 до 210 м. Сильносмытые почвы располагаются в нижней части склона крутизной более $4,5^\circ$ и ширина их пояса не превышает 100–110 м. Интенсивность проявления современных эрозионных процессов зачастую не совпадает с границами распространения конкретной степени смывности, что в конечном итоге приводит к увеличению площадей смытых почв и изменчивости границ степеней смывности [42].

Агроландшафтная полоса должна рассматриваться и выделяться с позиционно-динамической ландшафтной структуры, чтобы в ее пределах интенсивность современных эрозионных процессов была однотипной по ее динамическим показателям. В пределах одной ландшафтной полосы потоки однонаправлены, а градиент их может изменяться только в зависимости от крутизны и экспозиции склона. Границы между ландшафтными полосами приурочены к определенным каркасным линиям рельефа: водораздельные линии, склоны определенной крутизны, расстояние от водораздельной линии и др. Из-за большой пестроты природных факторов размеры ландшафтных полос, отвечающие перечисленным требованиям, колеблются от 3–5 до 50–60 га [133].

Для повышения точности проектирования границ линейных рубежей сельскохозяйственные угодья по величине расчетного смыва, производимого стоком талых вод и ливневых дождей, группируются в семь классов эрозионной опасности:

- I – незначительная (до 2,5 т/га);
- II – слабая (2,6–5,0 т/га);
- III – умеренная (5,1–10,0 т/га);
- IV – средняя (10,1–30,0 т/га);
- V – сильная (30,1–50,0 т/га);
- VI – очень сильная (50,1–70,0 т/га);
- VII – катастрофическая (более 70,0 т/га).

Эти классы земель объединяются в четыре агроландшафтные полосы.

Первая полоса занимает склоны крутизной от $0,5^\circ$ до $2,5^\circ$ (I и II классы эро-

зионной опасности). Почвенный покров представлен неэродированными и слабоэродированными почвами в соотношении 40 % и 60 % от площади полосы. Вторая полоса занимает склоны крутизной от 2,6° до 4,5° (III и IV классы эрозионной опасности). Почвенный покров представлен слабо- и среднеэродированными почвами в соотношении соответственно 60 % и 40 %. Третья полоса занимает склоны крутизной более 4,5°. Сюда относят V и VI классы эрозионной опасности. Почвенный покров представлен средне- и сильноэродированными почвами (60 % и 40 %). К VII классу эрозионной опасности относятся слабонезадернованные склоны балок, борта оврагов. Его условно можно отнести к четвертой ландшафтной полосе.

По ширине ландшафтные полосы существенно различаются между собой. Исходя из соотношения площадей смытых почв по почвенно-эрозионным зонам, можно примерно указать, что первая агроландшафтная полоса будет занимать 50–60 % поверхности склона, вторая – 30–35 %, третья – 10–15 % и четвертая до 3–5 %. Но это идеальный вариант расположения и сочетания агроландшафтных полос. В природе все намного сложнее. Не всегда в пределах овражно-балочного водосбора, а тем более ложбинного и ложбинного, происходит последовательная смена одной агроландшафтной полосы другой. Может оказаться так, что в пределах проектируемого водосбора выделяют только первую и вторую агроландшафтные полосы или вторую и третью. Но может оказаться и так, что первая агроландшафтная полоса отделена от третьей узкой и прерывистой второй.

Очень часто конфигурация агроландшафтных полос имеет неправильную форму (в одних местах расширяясь, в других – суживаясь). В таких случаях необходима корректировка, т. е. выравнивание границ полосы для того, чтобы в дальнейшем обеспечить контурно-параллельное размещение линейных рубежей.

Границы агроландшафтных полос должны быть закреплены рубежами первого порядка (стокорегулирующие, прибалочные лесные полосы, валы, канавы). В пределах первой агроландшафтной полосы проектируется система компенсационных мероприятий, за основу которой берется инженерный расчет по задержанию стока талых вод определенной степени обеспеченности (чаще всего 10 %).

Агроландшафтные полосы являются исходной технологической градацией, так как они охватывают близкие по плодородию почвы, однородные по крутизне экспозиции и форме склоны, имеют относительно одинаковые условия увлажнения, микроклиматические особенности. Поэтому они должны иметь строго определенный режим использования, набор сельскохозяйственных культур и приемов по стабилизации и повышению плодородия.

11.4 Элементы системы компенсационных мероприятий

Составными элементами системы компенсационных мероприятий являются противоэрозионная организация территории, агротехнические, лесомелиоративные, лугомелиоративные приемы и простейшие гидротехнические сооружения.

11.4.1 Противоэрозионная организация территории

При планировании системы компенсационных мероприятий исходят из того, что в ходе процессов рельефообразования, а также под воздействием природных и антропогенных факторов на водосборных бассейнах разного ранга и их склонах сложились разные почвенно-климатические условия.

В приводораздельной части склонов крутизной до 2,5° почвы преимущественно несмытые и слабосмытые. Процессы эрозии здесь протекают слабо. Однако

эта территория является ареной формирования стока, который, поступая на притеррасные участки склонов и в гидрографическую сеть, приводит к смыву почвы и размыву почвогрунтов, а также к выносу биогенных веществ в водные источники. Здесь компенсационные мероприятия должны быть направлены на задержание воды на месте или безопасный сброс в зависимости от природной зоны.

В притеррасной части образуется полоса средне- и сильносмываемых почв, характеризующихся пониженным содержанием гумуса, ухудшенными водно-физическими и химическими свойствами и сильной податливостью эрозии. Здесь в основном протекают процессы смыва (иногда и размыва) как за счет собственного стока, так и за счет подтока с вышележащей территории. Поэтому компенсационные мероприятия должны быть направлены на защиту почв от смыва, восстановление и повышение плодородия.

В гидрографической сети протекают в основном процессы размыва и смыва, но имеются несмытые, слабо- и среднесмытые почвы, а также намываемые почвы. Мероприятия на этих участках должны быть направлены на предохранение их от размыва и смыва (рисунок 189).



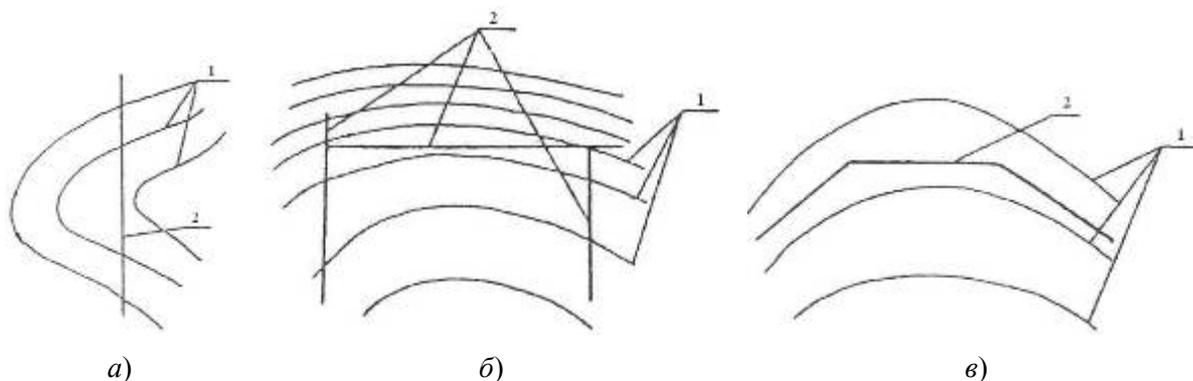
Рисунок 189 – Единая фрактально-иерархическая самоорганизация водосборных бассейнов равнинной суши и классификация гидрографической сети (по В. И. Панову)

Анализ противоэрозионной эффективности отдельных приемов и их сочетаний в целом по стране показал наиболее высокий эффект лесных полос в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями (валы, каналы, запруды) [20, 29, 116]. Было подтверждено, что современное почвозащитное земледелие может быть только рубежным. Это означает, что сокращение стока поверхностных вод и смыва почвы до безопасного уровня возможно путем специально устроенных рубежей – лесомелиоративных, гидротехнических и особенно их сочетаний. Таким образом, сущность противоэрозионной организации территории заключается в регулировании поверхностного стока, обработке почвы и посевах поперек склона.

С этой целью рекомендуется линейные элементы организации территории (границы угодий, полей и рабочих участков севооборотов, дорог, лесополос, валов-террас, валов-каналов) размещать вдоль горизонталей по контурам или с незначительными отклонениями от них, но отклонения линейных элементов организации территории от горизонталей не должны создавать опасности размыва почв.

Правильно разместить линейные элементы организации территории склоновых земель можно только в порядке внутрихозяйственного землеустройства с использованием плана землепользования с горизонталями и материалов почвенно-эрозионного обследования. В основе контурной организации территории лежит распределение земель по крутизне склонов и интенсивности проявления эрозионных процессов. Для этой цели используют картограммы крутизны склонов, эродированности почв и др.

М. Н. Лопыревым [133] предложены способы размещения линейных элементов территории на склонах, которые показывают, что на эрозионно опасных землях прямолинейное размещение элементов территории чаще всего нецелесообразно, так как не отвечает требованиям снижения интенсивности смыва почв, формированию экологически однородных ландшафтных полос (рисунок 190 а, б).



a – размещение линейных элементов поперек основного склона;
б – прямолинейное размещение линейных элементов; *в* – прямолинейно-контурное размещение линейных элементов; 1 – горизонталы; 2 – линейные элементы

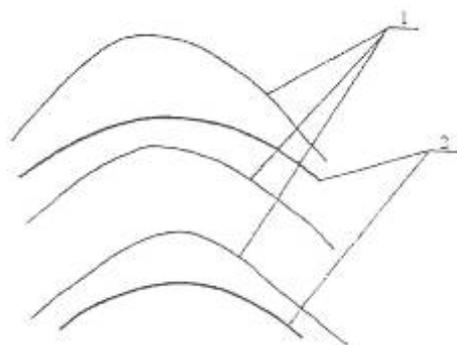
Рисунок 190 – Способы размещения линейных элементов

При прямолинейно-контурном размещении линейных элементов прямолинейные границы полей (рабочих участков) намечают вдоль основного направления горизонталей, причем на отдельных отрезках направление границ может быть изменено в соответствии с изменением направления горизонталей (рисунок 190 в). При такой организации территории между изломами границ создаются условия для прямолинейной обработки.

Однако в местах самих изломов образуются клинья и огрехи, кроме того, на сложных склонах прямолинейные отрезки часто значительно отклоняются

от изогнутых горизонталей, что может привести к возникновению стока и смыва почвы. Способ обычно применяют на рассеивающем типе склонов с крутизной до 3° .

При контурно-параллельной организации границы участков проектируются параллельно одной горизонтали, усредненной для данного массива пашни (рисунок 191).



1 – горизонталей; 2 – линейные элементы

Рисунок 191 – Контурно-параллельное размещение линейных элементов

Этот способ применяют на сложных формах рельефа. К его недостаткам относится то, что он обеспечивает правильную обработку лишь вблизи этой горизонтали, а в других местах обработка будет вестись под углом к горизонталям.

При контурном размещении линейных элементов границы участков и обработка проектируются строго по горизонталям (рисунок 192 а).

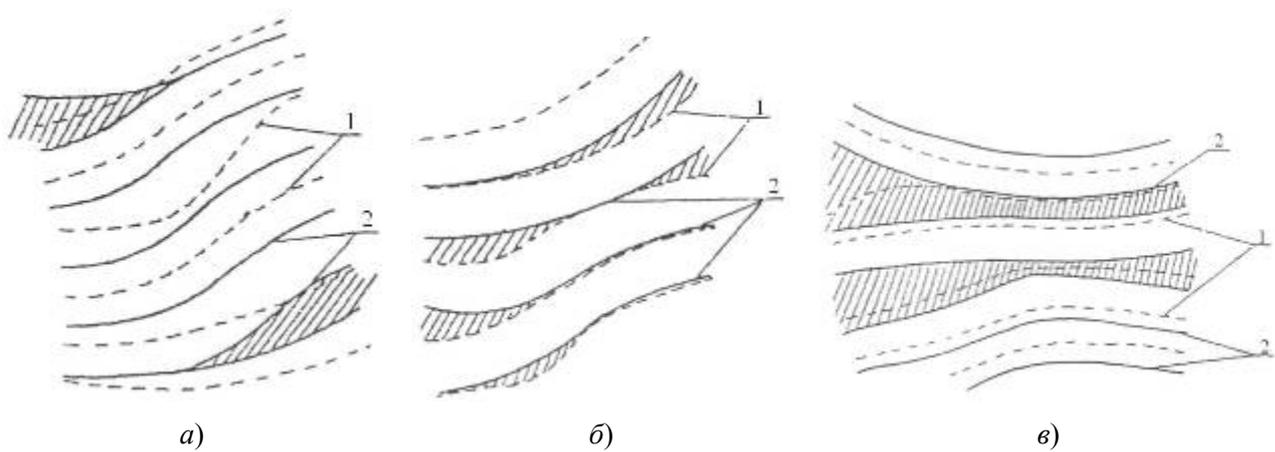
Возможности применения этого приема ограничены, и хотя способ обеспечивает наилучшие условия для задержания стока и уменьшения смыва почвы, из-за непараллельности горизонталей между залогами образуются остаточные клинья и глухие борозды, которые обрабатываются отдельно. В этом случае возможно контурное размещение линейных элементов с выведением корректирующих полос при обработке на края или в середину поля (рисунок 192 б). Контурное размещение границ может дополняться проектированием внутри полей и рабочих участков буферных полос из многолетних трав (рисунок 192 в).

Как уже было указано, основным положением противозерозионной организации территории является требование к размещению линейных элементов и проведение агротехнических мероприятий поперек движения стока. Однако при сложном рельефе, когда склоны в пределах одного поля или отдельно обрабатываемого рабочего участка имеют разную форму, а горизонталей непараллельные, выполнять это требование бывает достаточно трудно.

Кроме того, необходимо учитывать следующие правила [232]:

- центры контурных линейных элементов должны выходить за пределы рабочего участка (поля);
- при проектировании контурной обработки не следует допускать кривизну рабочих проходов агрегата с радиусом менее критического (60–70 м), если такая кривизна образуется, то необходимо обеспечить ее выход за пределы рабочего участка (поля);
- линейные элементы и трассы рабочих проходов агрегатов должны размещаться поперек движения стока с допустимыми отклонениями от горизонталей.

Допустимая протяженность линейных элементов вдоль склона или под углом к горизонталям определяется с помощью данных, приведенных в таблицах 168 и 169 по самым эрозионно опасным агрофонам или культурам.



a – размещение линейных элементов с выделением клиньев при обработке на края или в середине поля; *б* – размещение линейных элементов строго по горизонталям с образованием при обработке замкнутых огрехов и клиньев; *в* – размещение линейных элементов с контурно-буферной системой возделывания сельскохозяйственных культур; 1 – горизонтали; 2 – линейные элементы

Рисунок 192 – Контурное размещение линейных элементов

Таблица 168 – Группировка почв по устойчивости к размывающему действию воды

Группа почв	Тип и подтип почв	Предельно допустимая скорость стока, м/с
I	Дерново-подзолистые, светло-серые, серые, темно-серые почвы	0,12
II	Черноземы мощные выщелоченные и черноземы оподзоленные, черноземы обыкновенные, темно-каштановые почвы	0,17
III	Черноземы мощные, черноземы мощные деградированные	0,20

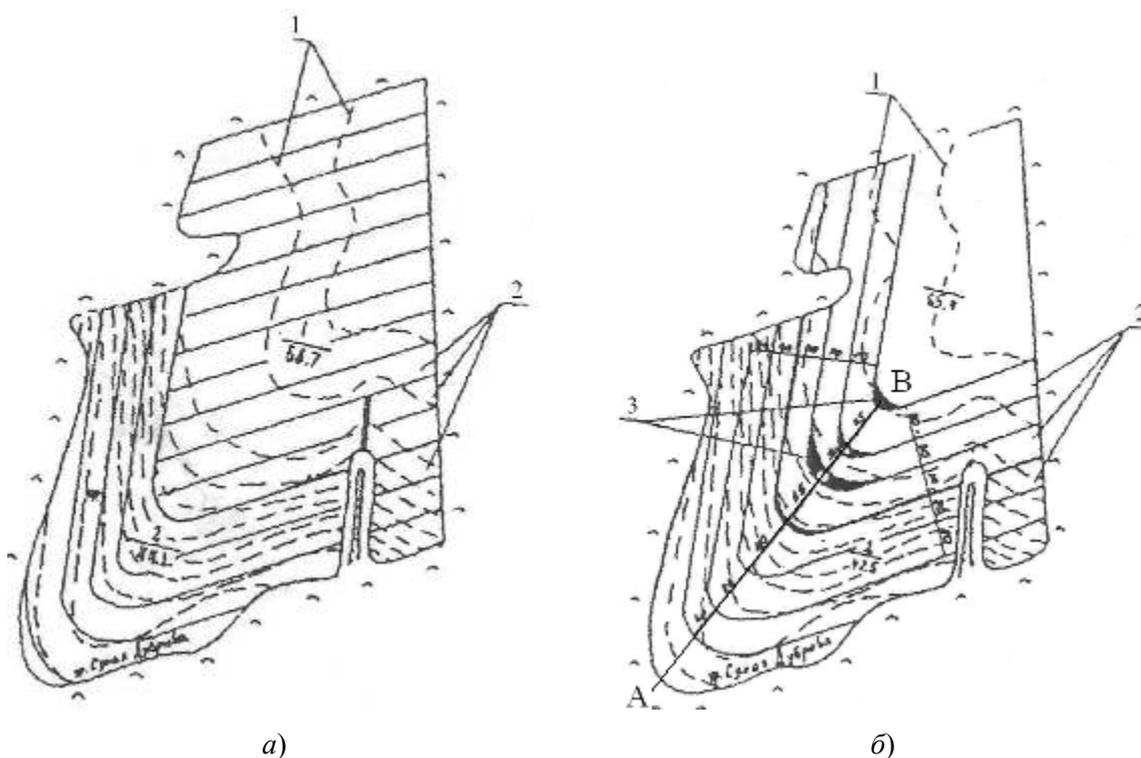
Таблица 169 – Шкала допустимой длины стока по рабочему направлению

Уклон, град.	Пар чистый, сахарная свекла, кукуруза на зерно			Подсолнечник, кукуруза на зеленый корм и силос			Озимые, яровые зерновые, пар занятый (вика – овес)		
	Группа почв								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	101	204	283	136	272	378	207	416	577
1,0	63	126	175	84	168	233	127	256	355
1,5	50	100	138	66	133	184	101	203	281
2,0	43	83	120	58	116	160	83	176	244
2,5	39	79	110	52	105	145	80	160	222
3,0	36	74	10	49	98	136	75	150	208
3,5	34	70	97	46	93	129	71	142	197
4,0	33	67	98	44	89	123	68	136	189
4,5	32	65	90	43	86	120	66	132	183
5,0	31	63	87	42	84	117	64	129	178
5,5	30	62	86	41	82	110	63	125	174

Продолжение таблицы 169

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6,0	30	61	84	40	81	112	61	123	170
6,5	29	60	83	39	79	110	60	121	168
7,0	29	59	82	39	78	108	60	119	165
7,5	28	58	80	38	77	107	59	117	163
8,0	28	58	80	38	76	106	58	117	161
8,5	28	57	79	37	75	105	58	115	161
9,0	28	56	78	37	75	103	57	114	158
9,5	28	56	77	37	74	103	57	113	157
10,0	27	55	77	37	73	102	56	112	156

На рисунке 193 изображен склон, на котором запроектированы два рабочих участка с контурной обработкой. Базисной направляющей линией для обоих участков является их общая граница АВ. Указанная граница обеспечивает поперечную обработку на всей площади массива, однако, как видно из рисунка, выше нее по склону радиусы обработки постоянно уменьшаются (рисунок 193 а), что затрудняет механизированную обработку и в результате на крупных проводах с радиусом 60–70 м образуются необработанные клинья.



а – проект, имеющий недостатки; б – исправленный проект;

1 – горизонтали; 2 – обрабатываемые загоны; 3 – необрабатываемые клинья

Рисунок 193 – Недостатки проектирования контурной обработки и их устранение при организации территории

На рисунке 193 б показан вариант размещения границы АВ, исключая указанные недостатки.

Если центр контурного линейного элемента нельзя вынести за пределы поля

(рабочего участка), то склон расчленяют на части по водоразделу лесной полосой, дорогой или другим постоянным линейным элементом.

Размещение линейных рубежей тесно увязывается с агроландшафтными полосами (рабочими участками), которые выделяются по однородным геоморфологическим, почвенным и эрозийным условиям для проведения определенной системы почвозащитных мероприятий. Ширина контурной полосы выбирается из расчета ширины стока 10 % обеспеченности, кратности ширины захвата машинно-тракторных агрегатов и допустимого смыва почвы.

11.4.2 Агротехнические приемы

Одним из компонентов компенсационных мероприятий являются агротехнические приемы. Они способны обеспечить полезную отдачу уже в первый год своего применения. К ним относятся почвозащитная обработка и способы посева, удобрение и снегозадержание и др.

Ведущее место среди них занимает обработка почвы.

Обработка регулирует соотношение объемов жидкой, твердой и газообразной фаз почвы; придает определенную направленность химическим, физико-химическим, биологическим процессам; ускоряет или замедляет темпы синтеза и разрушения органического вещества.

С ее помощью можно повысить водопроницаемость почв, создать на полях водозадерживающий микрорельеф, придать поверхности пашни более устойчивое к эрозии состояние, рассеять концентрированный поверхностный сток, в случае необходимости отвести его в эрозионно безопасное место. Большинство из этих приемов являются влагосберегающими, так как с их помощью улавливают осадки на месте выпадения, переводят их в более глубокие слои почвы, уменьшают испарение.

Агротехнические приемы, направленные на защиту почв от поверхностного стока, условно можно разделить на две группы: общие и специальные. Общие приемы обработки почвы, приемы, для проведения которых не требуется специальная техника. Они осуществляются орудиями общего назначения с учетом некоторых особенностей почвозащитной агротехники. Главная их задача – выполнение обычных агротехнических операций.

К общим почвозащитным приемам относятся вспашка, культивация, посев поперек склона или по горизонталям рельефа; выбор необходимой, сообразно конкретным условиям, глубины обработки почвы, исключение операций, связанных с выравниванием поверхности почвы при проведении поздних осенних обработок.

Анализируя противоэрозионную эффективность общих почвозащитных приемов, можно сделать вывод, что им принадлежит скромная роль в задержании стока талых и дождевых вод, в уменьшении смыва и выдувания почвы.

Для обеспечения максимального задержания осадков в месте их выпадения необходимы специальные агротехнические приемы, основные требования к которым такие же, как и к общим. К специальным приемам обработки почвы относятся те, которые усложняют технологические процессы по сравнению с общими. Специальные почвозащитные приемы выполняются не только специальными средствами механизации, но и орудиями общего назначения. Обычный плуг ПН-4-35 можно использовать для напашки распылителей стока или проведения фигурного валкования.

Специальные агротехнические приемы по своему назначению делятся на несколько групп:

- приемы, направленные на создание противоэрозионного микрорельефа

на поверхности пашни (лункование, прерывистое, а также извилистое или фигурное бороздование, создание микролиманов, обвалование простое и фигурное, ячейкование);

- приемы, повышающие водопроницаемость почв (щелевание, кротование, почвоуглубление, обработка чизелем, глубокое полосное рыхление);

- приемы, придающие поверхности пашни устойчивую поверхность (микрокулисная обработка, мульчирование, обработка пашни полимерами, сохранение на поверхности почвы пожнивных остатков);

- приемы, обеспечивающие задержание снега на полях (посев кулис, поделка снежных валиков, полосное уплотнение).

В среднем специальные агротехнические приемы обеспечивают задержание 10–20 мм поверхностного стока. При их назначении в сочетании с другими почвозащитными мероприятиями можно использовать поправочные коэффициенты по выносу биогенных элементов (таблица 170).

Таблица 170 – Поправочные коэффициенты к выносу биогенных элементов при различных компенсационных агротехнических мероприятиях

Компенсационное мероприятие	$K_{\text{агр}}$
Отвальная обработка на глубину 20–22 см	1,0
Глубокая вспашка на глубину 27–30 см	0,90
Глубокая вспашка на глубину 27–30 см + почвоуглубление на 10–15 см	0,80–0,90
Глубокая безотвальная (чизельная) обработка на глубину 32–40 см	0,90
Безотвальная (плоскорезная) обработка на глубину 20–22 см	1,15
Обвалование зяби через 2,5–3,0 м при вспашке	0,85
Создание нанорельефа на зяби и посевах озимых (лункование, бороздование и пр.)	0,85
Щелевание озимых культур и многолетних трав	0,80
Полосное размещение уплотненной и рыхлой пашни (ширина полос 40–60 м)	0,80

11.4.3 Агролесомелиоративные насаждения

Системы защитных лесных насаждений на водосборах формируются из лесных полос (полезащитных – ветроломных, стокорегулирующих, прибалочных, приовражных, приречных и др.) и массивных насаждений (овражно-балочных, по берегам водоемов и рек, на песчаных массивах). Увязывается данная система в единое целое через потоки вещества и энергии, в том числе поверхностный сток и ветровой поток, обеспечивающие геохимический обмен и связь между соседними ландшафтными полосами и ярусами [117].

Защитные лесные насаждения в качестве системообразующего фактора осуществляют разделение агротерритории на изолированные участки угодий с устойчивым закреплением их границ – рубежи первого порядка. По существу, это превращение открытой агротерритории в агролесоландшафт. В результате здесь сохраняются (восстанавливаются, усиливаются) основные латеральные биоэнергетические потоки ландшафта, обеспечивая тем самым регулирование гидроклиматических условий и саморегуляцию других жизнеобеспечивающих режимов на защищенной территории.

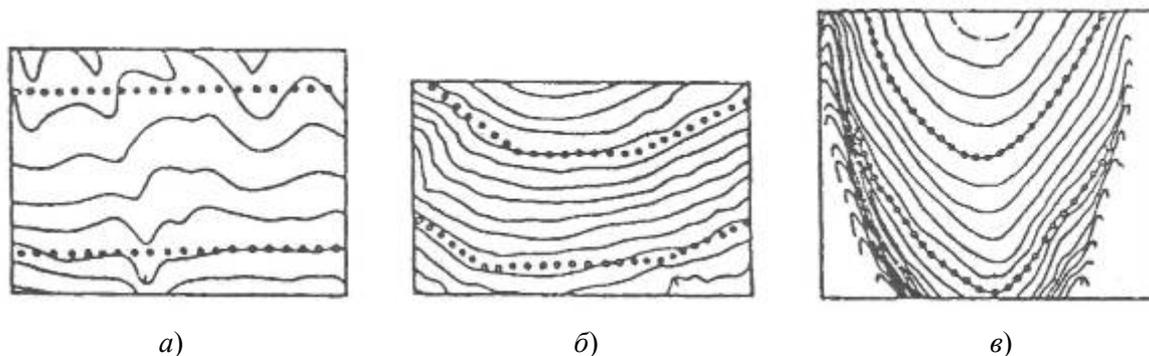
При системном подходе к созданию устойчивых в экологическом отношении

ландшафтов следует помнить, что агролесоландшафт – часть наиболее крупных геосистем, испытывающий постоянное взаимодействие всех его элементов. Агролесоландшафт состоит из мелких экосистем, образующих сложную мозаику. При оптимизации совместное функционирование всех этих экосистем «настраивается» на достижение желаемого эффекта.

Задержание поверхностного стока талых и дождевых вод на пахотных землях осуществляется системой стокорегулирующих лесных полос.

В целях более полного поглощения поверхностного стока стокорегулирующие лесные полосные насаждения совмещают с валами и канавами. Канавы устраивают в нижнем междурядье лесополос. Глубина канав должна быть не менее глубины промерзания почвы (обычно от 0,7 до 1,5 м). Обвалование выполняют по нижней опушке. Целесообразно выполаживать откосы валов до 1:10–1:15.

На ложбинистых склонах по нижней опушке лесополос или в нижнем междурядье устраивают прерывистую канаву с валом, доводя рабочую отметку валов до уровня межложбинных повышений. По верхней опушке лесополос уничтожают напашу и устраивают распылители стока. Такие биоинженерные рубежи размещают (на основе соответствующих расчетов смыва) поперек склонов, примерно по контуру горизонталей (рисунок 194).



а – прямолинейно-параллельный (нейтральный склон); *б* – контурно-параллельный (рассеивающийся с субпараллельными горизонталями); *в* – контурный (рассеивающийся с непараллельными горизонталями)

Рисунок 194 – Способы трассирования лесных полос на склонах разной формы

Конструкция стокорегулирующих лесополос должна быть оптимальна для каждой природной зоны. Во всех природных зонах в местах прохождения стока (по ложбинам) в лесных полосах увеличивают долю кустарников, формируя на этих участках плотную конструкцию насаждения.

Для расчета водопоглощения в лесополосах и слоя регулирующего талого склонового стока применяются уравнения:

- для скорости процесса, мм/мин:

$$w = w_m [1 - \exp(-i_0 / w_m)]; \quad (144)$$

- для слоя инфильтрации, мм:

$$W = W_m [1 - \exp(-I_0 / W_m)], \quad (145)$$

где w , W – текущие значения характеристик инфильтрации;

w_m , W_m – значения максимальной инфильтрационной способности почвы в насаждениях;

i_0 , I_0 – текущие значения характеристик осадков.

При определении подтока в лесных насаждениях применяются уравнения:

$$W_{л} = W_{лм} [1 - \exp(-P_c / W_{лм})], \quad (146)$$

$$K_{вс} = W_{л} / P_c = W_{лм} [1 - \exp(-P_c / W_{лм})] / P_c, \quad (147)$$

$$P_c = P_{п} + h_{л}, \quad (148)$$

$$P_{п} = S_{п} (L_n / B_{л}), \quad (149)$$

$$\Delta S_{п} = B_{л} (W_{л} - h_{л}) \cdot L_n, \quad (150)$$

где $W_{л}$, $W_{лм}$ – текущее суммарное и максимальное водопоглощение в лесном насаждении, мм;

P_c , $P_{п}$ – слой суммарного и полевого подтока в насаждение, мм;

$K_{вс}$ – коэффициент суммарного водопоглощения;

$h_{л}$ – осадки под пологом насаждения, мм;

$S_{п}$ – слой поверхностного стока, мм;

L_n – длина склона, м;

$B_{л}$ – ширина лесного насаждения, м;

$\Delta S_{п}$ – слой сокращения поверхностного стока за счет поглощения в насаждении, мм.

Величины $W_{л}$, $W_{лм}$ для пашни и лесополос определяются по данным приложений В, Г. Параметры гидротехнических сооружений, применяемых в сочетании с лесными полосами, величины поглощения в них талых вод, а также сокращения ими слоя полевого стока и другие характеристики принимаются согласно данным приложений Г, Д, Ж, И, К, Л, М [21, 226].

Противоэрозионные защитные лесонасаждения на присетьевом и гидрографическом фондах включают прибалочные, приовражные, береговые, пойменные лесополосы, массивные и куртинные насаждения в оврагах, балках на берегах рек, каменистых землях и др. Их проектируют на заданную величину мелиоративного эффекта, используя зональные рекомендации и нормативы, и увязывают с принятой организацией территории и системой природопользования. Агротехнику и технологию зеленых лесных насаждений принимают исходя из действующих инструкций, рекомендаций и местного опыта.

Работы по лесомелиорации выполняют согласно техническим проектам. Прибалочные лесополосы проектируют в увязке с использованием площади балочных склонов. Насаждения вдоль бровок балок, где есть угроза размыва берегов (например, при изреженном травостое или его коренном улучшении), создают шириной 9–12 м ажурной (по ложбинам стока – плотной) конструкции. По нижней опушке лесополосы обваловывают. Приовражные лесополосы во всех природных зонах создают вдоль бровок крупных оврагов, не подлежащих выполаживанию или облесению. В их состав входят корнеотпрысковые виды деревьев и кустарников, а также виды, способные легко размножаться семенами (клен ясенелистный, осина и др.).

Проектирование лесомелиоративных насаждений в комплексе с другими компенсационными мероприятиями должно обеспечивать снижение эрозионных процессов до допустимых пределов с учетом специфики размещения и взаимодействия разных элементов в агролесоландшафте, а также рационального сочетания сельскохозяйственной, транспортной, селитебной промышленной, рекреационной и других специализированных подсистем в единой природно-территориальной системе.

Эта задача решается с помощью ландшафтного планирования с разработкой региональных схем ландшафтной организации сельскохозяйственной территории [233, 234]. Поправочные коэффициенты по снижению выноса биогенных элементов с поверхностным стоком приведены в таблице 112.

11.4.4 Лугомелиоративные приемы

Создание экологически устойчивых агроландшафтов предусматривает рациональное использование земель гидрографического фонда (частично третью и полностью четвертую агроландшафтные полосы).

Эти земли испытывают наибольшую эрозионную нагрузку, так как через них проходит сток воды со всей водосборной площади. Они в небольшой мере поражены оврагами и нуждаются в мелиорации не только с позиций повышения продуктивности земель, но и с позиций охраны рек и водоемов от транспортируемых через эти системы продуктов смыва. Кроме того, предупреждение оврагообразования, приостановление роста оврагов на этих землях сохранит от разрушения пашню на прилегающих к балочной сети склонах. По агроэкологическому состоянию земель гидрографического фонда можно судить о противоэрозионном устройстве территории пашни и, в целом, агроландшафта [235].

В лесостепной, степной и сухостепной зонах земли гидрографического фонда занимают естественные кормовые угодья, отличающиеся большим разнообразием экологических условий, что связано с пестротой почвенного покрова и низким его плодородием.

В большинстве случаев это почвы различной степени эродированности, каменистые неполноразвитые, засоленные, солонцеватые. Природный травостой в результате выпаса скота сильно изрежен, из видового состава исчезают ценные в кормовом отношении травы и внедряются малоценные, сорные и ядовитые растения, разрушается дернина. Вследствие этого продуктивность таких пастбищ колеблется от 10–12 ц/га сена в Центрально-Черноземной зоне (ЦЧЗ), до 7–9 ц/га в степной зоне и 3–4 ц/га в сухостепной.

Ухудшение травостоя кормовых угодий ведет к усилению поверхностного стока талых и дождевых вод. Поэтому мероприятия, направленные на улучшение и повышение продуктивности земель гидрографического фонда, являются не только одним из путей увеличения производства кормов, но и надежным средством защиты почв от эрозии. Они осуществляются за счет снижения поверхностного стока, кольматации твердых наносов.

Для повышения продуктивности сенокосов и пастбищ, а следовательно, и противоэрозионной устойчивости, рекомендуется проводить поверхностное и коренное их улучшение. При поверхностном улучшении травостоя проводят дискование, подсев семян многолетних трав, вносят удобрения, на склонах балок перед уходом в зиму делают щелевание. Коренное улучшение предполагает зяблевую вспашку, если мы имеем на мелиорируемом участке достаточно мощный гумусовый слой, или безотвальное рыхление на маломощных и на почвах легкого гранулометрического состава. До этого проводят тщательную разделку дернины тяжелыми дисковыми боронами. Перед посевом почвы культивируют, боронуют, прикатывают.

Сотрудниками ВНИАЛМИ предложены критерии выбора способов улучшения травостоя при поверхностном и коренном улучшении мелиорируемых участков (таблица 171).

При залужении участков плодородных земель ставится задача подобрать высокоурожайные травы и их смеси, способные быстро создавать густой травостой и прочную дернину, предохраняющую почву от эрозии.

Злаковые травы создают загущенный, а бобовые – рыхлый травостой. Смесь трав для проведения залужения подбирается с учетом степени эродированности почв, экспозиций склонов и способа использования территории.

Таблица 171 – Критерии выбора и содержание способов улучшения травостоя

Вид улучшения	Условия применения	Состав мероприятий
Поверхностное	На слабопораженных оврагами балочных склонах крутизной до 20° при угнетенном состоянии травостоя и при наличии не менее 25 % ценных трав	Подготовка площади (расчистка кустарника, удаление кочек, засыпка промоин и др.), регулирование поверхностного стока, уход за дерниной и травостоем (боронование, уничтожение сорной растительности, подсев трав, снегозадержание, удобрение, щелевание и др.), лесомелиорация
Коренное	На эродированных склонах с деградированным травяным покровом и долей ценных трав менее 25 %	Регулирование поверхностного стока, планировка поверхности с уничтожением дернины, посев травосмеси, удобрение, лесомелиорация. На склонах крутизной 20° – предварительное террасирование
Самомелиорация и содействие ей	На сильноэродированных крутых склонах, каменистых, засоленных почвах	Регулирование стока на водосборе, лесомелиорация, устройство очагов инспермации

В лесостепной зоне высокую урожайность обеспечивают травосмеси из эспарцета песчаного и овсяницы луговой, костреца безостого и овсяницы луговой, костреца безостого и люцерны синегибридной и одновидового посева овсяницы луговой. Для склонов южной экспозиции (среднесмытые почвы) целесообразно применять травосмесь, включающую эспарцет песчаный и кострец безостый, а на сильносмытых – одновидовой посев эспарцета песчаного. Для создания пастбищ в степной зоне состав травосмесей должен состоять из низовых поукосных и корневищных злаков, из бобовых – люцерна желтая. Для сенокосов – верховые злаки и люцерна синегибридная. Для залужения переувлажненной части днищ балок рекомендуется использовать канареечник тростниковый, кострец безостый, бекманию, пырей ползучий, тимopheевку луговую, клевер белый и др. [117].

Для склонов южной экспозиции рекомендуется применять засухоустойчивые травы – люцерну желтую, житняк, пырей и кострец безостый.

Для пастбищного использования в сухостепной зоне рекомендуются следующие травосмеси: люцерна Кубанская желтая, донник; житняк, кострец безостый; люцерна Кубанская желтая, донник, житняк; люцерна Кубанская желтая, донник, пырей сизый или солончаковый.

В случае недостатка семян трав можно применять двухкомпонентные смеси: люцерна Кубанская желтая, житняк; люцерна Кубанская желтая, пырей сизый.

При сенокосно-пастбищном использовании в травосмесь включают люцерну синегибридную.

11.4.5 Гидротехнические сооружения

Одним из направлений регулирования поверхностного стока является создание противоэрозионных гидротехнических сооружений. В качестве основных при-

меняются валы с широким основанием, водозадерживающие и водонаправляющие валы, валы-канавы и др.

Противоэрозионные гидротехнические сооружения проектируются в том случае, если остальные элементы почвозащитной системы не в состоянии предотвратить развитие эрозионных процессов на пашне и овражно-балочных землях. На пахотных склоновых землях они выполняют вспомогательную роль по сбросу временных потоков талых и ливневых вод. В борьбе с оврагообразованием, оползнями, селевыми потоками и русловыми процессами они являются основным средством, предотвращающим развитие эрозии [117].

Гидротехнические сооружения, в отличие от других элементов противоэрозионной системы, характеризуются максимальной водорегулирующей способностью.

Гидротехнические сооружения классифицируются по назначению на следующие типы:

- водозадерживающие;
- водонаправляющие;
- водосбросные;
- сооружения по закреплению днищ оврагов;
- берегоукрепительные;
- противоселевые;
- противооползневые.

В зависимости от места положения они подразделяются на несколько видов: сооружения на водосбросной площади, головные, овражные, русловые, донные.

Объемы работ определяются по трем видам строительных материалов: земляные сооружения; сооружения из местных строительных материалов; из бетона и железобетона.

Гидротехнические сооружения, применяемые для защиты почв от эрозии (согласно СН и ПП-К, 3-62), относятся к V классу капитальности и рассчитываются на максимальные расходы и объемы стока 10%-й обеспеченности.

К простейшим гидротехническим сооружениям на пашне относятся валы-террасы, канавы с валами, водоотводящие валы, накладные водоотводящие борозды и др. Они также применяются во взаимосвязи с другими противоэрозионными мероприятиями, и особенно с лесомелиоративными.

Валы-террасы – это долговременные земляные сооружения высотой 0,35–0,50 м с заложением откосов 1:10–1:12, размещают их на пашне с крутизной до 3–4°, проектирование следует проводить на топографическом плане М 1:2000 с сечением рельефа 0,5–1,0 м. Они имеют следующие элементы: сухой откос, гребень вала; мокрый откос, выемочная часть и межполосное пространство. По назначению они могут быть: горизонтальные (водозадерживающие) и наклонные (водорегулирующие). На равных формах склона, как правило, они размещаются параллельно-прямолинейно, на сложных склонах (выпуклых, вогнутых) – контурно-параллельно. В зависимости от крутизны склонов, степени эродированности почв и хозяйственных целей они могут размещаться на расстоянии от 30 м друг от друга до 216 м (с учетом кратности ширины захвата основных сельскохозяйственных машин и орудий), а длина валов-террас между залуженными водотоками на черноземных почвах может составлять 400–600 м; на серых лесных почвах – 300–500 м. На более крутых склонах (4–6°) сухой (низовой) откос отводится под постоянное залужение. Первоочередное их применение целесообразно на водосборах, в сильной степени пораженных оврагами.

Валы-террасы оказывают положительное влияние на снегоотложение, влаж-

ность почвы, уменьшают глубину промерзания и сокращают смыв почвы. Сток талых вод уменьшается на величину от 1–8 до 45–60 мм [21].

Водопоглощающие валы с канавами – рассчитываются на 10 % обеспеченность стока и размещаются на местности с максимальным приближением к горизонталям. В гидрологическом отношении они могут быть эффективнее, чем валы-террасы. Недостатком их является то, что около 10–15 % пашни под канавами не используется; при их эксплуатации требуется регулярное удаление сорняков. Наиболее эффективны валы с канавами при создании их в стокорегулирующих и нижних междурядьях прибалочных и приовражных лесных полосах. Их размеры в зависимости от почвенно-климатических особенностей могут составлять: глубина – от 0,5 до 1,5 м, ширина – 0,8–1,0 м, высота вала – от 0,5 до 0,8 м. Строительство валов и канав осуществляется бульдозерами, грейдерами, экскаваторами и плугами.

Валы-дороги устраиваются по границам полей или, при необходимости, рабочих участков. Более рационально сделать насыпь, откосы которой прилегают к полю и могут при их пологости занимать возделываемой культурой или производить залужение многолетними травами. В местах пересечения крупных ложбин устанавливаются, как в микролиманах, трубчатые водовыпуски, оборудованные клапанным затвором, что позволяет в период весеннего снеготаяния и после интенсивных ливней распределить остатки стока по отдельным участкам полей.

Наклонные водоотводящие борозды применяют для защиты почв от смыва на низележащих участках. Их устраивают по нижней границе или внутри полей через 50–100 м плугом с одним корпусом при уклоне по линии пахоты не более 1,0–1,5°.

Гидротехнические приемы на пашне, направленные на поверхностное водозадержание и увеличение водопоглощения (валы-террасы, канавы), обеспечивают уменьшение стока на 30–50 мм и смыв почвы в 8–12 раз. Однако все эти приемы имеют относительно высокую стоимость, они рассчитаны для контурно-мелиоративной организации, что создает определенные сложности в организации полевых работ.

При эксплуатации противоэрозионных гидротехнических сооружений высока вероятность возникновения аварийных ситуаций в результате размыва водотоков, заиления сооружений, подмыва их отдельных участков, обрушения откосов, образования оползней и др.

Безаварийная эксплуатация таких сооружений обеспечивается при соответствующем расчетном запасе их прочности и устойчивости путем вложения соответствующих капитальных затрат.

Для районов с выраженной овражной эрозией в лесостепной и степной зонах рекомендуются следующие виды оврагоукрепительных сооружений:

- *водозадерживающие валы* применяются для закрепления склоновых береговых и вершинных оврагов с площадью водосборов от 3,0 до 25 га, находящихся в активной стадии роста. Строительная высота валов должна быть 1,7–1,8 м, расчетная – 1,5–1,6 м, рабочая – 1,2–1,3 м; ширина по верху – 2,5 м, заложение откосов: сухого – 1:1, мокрого – 1:1,5. Их в большинстве случаев следует располагать на естественных пастбищах и сенокосах, избегая отчуждения под них пашни. Площадь, занятая валами, засеивается многолетними травами; здесь делают посадку кустарника или лесонасаждений;

- *валы-плотины* (валы-перемычки) применяются на склонах небольшой крутизны для закрепления растущих оврагов. При большой глубине оврагов проводится частичная засыпка и выполаживание их верхней части, а затем на ней строится вал-плотина на расстоянии 50–100 м ниже их вершины;

- водоотводящие валы используются для закрепления береговых и склоновых оврагов с водосборами до 4–6 га в случаях, если приовражные склоны по рельефу и по состоянию поверхности позволяют осуществить сброс стока на дно балок. Высота валов на необрабатываемых участках (пастбища) 0,7–0,8 м, на участках вблизи пашни – 1,0–1,2 м, так как здесь возможно заиливание, ширина – 2,5 м, заложение откосов: сухого – 1:1, мокрого – 1:1,5. Форма валов прямолинейная или дугообразная.

Засыпка и выполаживание оврагов позволяет не только закрепить овраги, но и полностью или частично их ликвидировать и вовлечь в продуктивное использование. Овраги крупных размеров (глубина 6–10 м) засыпаются частично, и производится выполаживание их откосов до крутизны 1–12°. В отдельных случаях применяются дорогостоящие водосбросные или донные сооружения из бетона, камня, кирпича, дерева при действующих оврагах, подошедших к дорогам, ЛЭП, постройкам и ценным угодьям.

При правильном применении на пашне комплекса мероприятий в условиях контурно-мелиоративной организации территории агроландшафтов сток талых и ливневых вод будет сводиться к минимуму, уровень роста оврагов значительно снизится, а поэтому не всегда возникает необходимость в применении системы вышеописанных оврагоукрепительных сооружений, а варианты проработки позволят проектировать в небольших объемах водоотводящие устройства облегченной конструкции [21]. Поправочные коэффициенты по снижению выноса биогенных элементов от применения простейших гидротехнических сооружений и их сочетания с другими элементами представлены в таблице 112.

11.5 Система компенсационных мероприятий

Представленная схема разделения территории водосборов на агроландшафтные полосы, в том числе по интенсивности проявления поверхностного стока, использовалась в качестве примера для построения системы компенсационных мероприятий для степной зоны. Выбор компенсационных мероприятий не имеет однозначного решения, т. к. всегда можно подобрать несколько различных вариантов, которые обеспечили бы потери от поверхностного стока ниже допустимого уровня.

Основные требования, которым должна отвечать система компенсационных мероприятий, следующие:

- всесторонний учет природно-климатических факторов и зональных закономерностей формирования поверхностного стока;
- оптимальность соотношения организационно-хозяйственных, агротехнических, лесолугомелиоративных мероприятий и гидротехнических сооружений. Это позволит формировать компенсационные системы на основе энергосбережения;
- равнозначность всех приемов и мероприятий, составляющих систему. Одни и те же приемы и мероприятия в зонах с различной интенсивностью проявления поверхностного стока могут нести различную функциональную нагрузку, что в значительной степени будет определять вероятность их применения;
- размещение элементов компенсационной системы следует проводить с учетом вертикальной (склоновой) микрозональности, т. е. на основании деления склона на агроландшафтные полосы. Например, с увеличением длины и крутизны склона усиливается насыщенность системы приемами, мероприятиями и т. д.;
- охват компенсационной системой всей эрозионно опасной территории. Только в этом случае возможна эффективная борьба со смывом и размывом почвы;
- поддержание динамического равновесия агроландшафта и обеспечение его экологической устойчивости;

- сокращение поверхностного стока до допустимых пределов, воспроизводство почвенного плодородия, и на этой основе получение устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

В общем смысле система компенсационных мероприятий – это целостная совокупность элементов, находящихся во взаимодействии. Система основывается на связи между объединенными элементами. Элемент, не имеющий хотя бы одной связи с другими, не входит в рассматриваемую систему. Одни и те же элементы в зависимости от принципа объединения могут образовывать разные по свойствам системы. Поэтому системы в целом определяются не только и не столько составляющими элементами, хотя они имеют весьма существенное значение, сколько характеристиками связи между ними. Это основополагающее положение построения системы компенсационных мероприятий для различных почвенно-климатических зон. Характер этих связей конкретизируется следующими принципами: иерархичность, эмерджентность, целостность, внутренняя организованность, инвариантность и др. [30].

11.5.1 Система почвозащитных мероприятий для первой агроландшафтной полосы

Первая агроландшафтная полоса занимает приводораздельные части ландшафта. Этот преимущественно склоны крутизной от $0,5^\circ$ до $2,5^\circ$, интенсивно используемые в сельскохозяйственном производстве (зернопаропропашные севообороты). Основные виды деградации почвенного покрова – дегумификация, эрозия.

Потенциально возможные потери почвы от эрозии – от 3 до 4 т/га. Для данной агроландшафтной полосы характерно следующее распределение земель по степеням эродированности: 40 % неэродированных и 60 % слабоэродированных.

В качестве основных элементов организации территории были приняты система полевых защитных и стокорегулирующих лесных полос, а также контурно-полосное размещение сельскохозяйственных культур и агрофонов. Последнее – это универсальный прием, который одновременно выполняет задачи организации эрозионно опасной территории, противоэрозионную агротехнику и гидротехнику.

Сущность данного приема заключается в том, что поле занимается не одной культурой, а двумя, и размещаются они не сплошными массивами, а чередуются между собой отдельными лентами-полосами шириной от 50 до 100 м, в зависимости от крутизны склона. Почвозащитный эффект его базируется на влиянии различных свойств подстилающей поверхности на впитывание, скорость стекания воды, снижение силы ветра в приземном слое. Чередование культур и агрофонов проводится так, чтобы в зимний период в полосах сменяли друг друга рыхлая (зябь) и уплотненная (посевы озимых культур, многолетних трав) пашня. Если по каким-либо причинам это невозможно сделать, то тогда одна полоса должна обрабатываться под зябь плугом, другая орудиями, оставляющими на поверхности почвы стерню и растительные остатки (плоскорез, чизель, «параплау», стойки СибИМЭ и др.).

В летний период одни полосы (например, четные) должны заниматься культурами сплошного сева (озимые, однолетние, многолетние травы и т. д.), другие (нечетные) – эрозионно опасными (чистый пар, пропашные культуры).

Основная особенность этого мероприятия, выгодно отличающегося от других почвозащитных мер, заключается в том, что при его проведении не требуется специальных машин и каких-либо существенных изменений в приемах обработки почвы и технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

Контурно-полосное размещение культур и агрофонов по сравнению со сплошным имеет целый ряд преимуществ:

1 Благодаря чередованию в полосах культур с различными почвозащитными свойствами, агрофизическими показателями обрабатываемого слоя, разными периодами сева и уборки резко уменьшается проявление поверхностного стока;

2 При контурно-полосном размещении культур и агрофонов достигается наибольшая выравненность почвенного покрова, рельефа, микроклимата, т. е. они совпадают и совмещаются с агроландшафтной полосой. Это создает условия для проведения весенне-полевых работ, одинаковых в пределах полосы, применения одинаковых доз удобрений и, в конечном итоге, обеспечивает получение устойчивого урожая;

3 Благодаря чередованию на поле полос низкорослых культур с высокорослыми, поздних с ранними, чистого пара с посевами создаются более благоприятные условия микроклимата;

4 При обработке полос в одном направлении вспашки в развал (по другому их обрабатывать не рекомендуется) через 4–5 лет на границах полос создаются напаша в виде валов с широким основанием. Они не препятствуют обработке почвы, посеву, уборке и служат дополнительным средством для задержания поверхностного стока.

В том случае, когда при контурно-полосном размещении культур и агрофонов проявляется поверхностный сток (особенно при наличии ложбин), в силу вступают специальные агротехнические приемы (лункование, бороздование, щелевание и др.). Это позволяет приостановить поверхностный сток внутри полос.

Таким образом, в качестве организации территории для первой агроландшафтной полосы выступает контурно-полосное размещение сельскохозяйственных культур и агрофонов. Валы, образующиеся на границах полос, «консервируют» рельеф, замедляют скорость водных потоков, осаждают мелкозем. Наиболее наглядно это происходит по потяжинам и ложбинам, в результате чего они постепенно сглаживаются, т. е. осуществляется «притирка» территории, занимаемой первой агроландшафтной полосой, и контурно-полосного размещения культур (агрофонов). Сочетания последнего со специальными агротехническими приемами позволяют полностью контролировать поверхностный сток, т. е. этих двух почвозащитных элементов достаточно для обеспечения почвозащитной, агротехнической и экологической эффективности при эксплуатации земель данной агроландшафтной полосы.

Схожий вариант системы компенсационных мероприятий предложен ВНИИЗиЗПЭ для Центрально-Черноземной полосы. Основу системы составляют стокорегулирующие лесные полосы по границам рабочих участков и буферные полосы на паровых полях, которые размещают поперек основного склона в зернопаровом и зернопаропропашном севооборотах. Площадь пашни – не более 60–70 %.

11.5.2 Система почвозащитных мероприятий для второй агроландшафтной полосы

Из земель, вовлеченных в интенсивный сельскохозяйственный оборот, в значительной степени подвержена процессам деградации вторая агроландшафтная полоса.

Ранее отмечалось, что она занимает склоны от 2,6° до 4,5–5°. Это межбалочное пространство преимущественно с прямым и рассеивающим характером водосбора. Основной вид деградации почвенного покрова – эрозия, которая проявляется через плоскостной смыв, плавно переходящий в линейный размыв (потяжины, ложбины).

Потенциально возможные потери жидкого поверхностного стока 40–50 мм,

твердого – до 20 т/га. Для того чтобы контролировать процессы поверхностного стока, необходима целостная система компенсационных мероприятий с высокой внутренней организованностью. В степной зоне юга Европейской территории РФ такая система может быть представлена: контурно-полосным размещением сельскохозяйственных культур и агрофонов, применением внутри полос специальных агротехнических приемов, стокорегулирующими лесными полосами, усиленными валами-канавами (простейшие гидротехнические сооружения) [30].

Согласно полученным экспериментальным данным, взаимодействие приемов и мероприятий в рамках системы компенсационных мероприятий для второй агроландшафтной полосы характеризуется рядом критериев:

1 Сложностью внутреннего строения и внешних взаимосвязей. На систему могут оказывать влияние:

- наличие одного ведущего приема или мероприятия (монодоминантность) фактора, например, системы лесных полос и контурно-полосного размещения сельскохозяйственных культур (агрофонов);

- усиление взаимного действия приемов и мероприятий (синергизм).

Так, усиление стокорегулирующей лесной полосы простейшими гидротехническими сооружениями в виде валов-каналов, а контурно-полосного размещения культур специальными агротехническими приемами многократно усиливает их водопоглощающую роль;

- заменяемость (замещаемость) факторов (антогонизм). При слое весеннего стока в 20–30 мм контурно-полосное размещение сельскохозяйственных культур и агрофонов способно практически полностью его поглотить без применения специальных агротехнических приемов (лункование, бороздование, щелевание и др.);

2 Неустойчивостью (нестационарностью). Действие лесных насаждений в первые 6–9 лет будет отличаться неустойчивостью до момента, когда межполосное расстояние между лесными полосами будет перекрываться взаимным их действием, или сочетание в полосах чистого пара и озимой пшеницы будет неустойчивым по отношению к ливневой эрозии до той поры, пока величина проективного покрытия почвы под посевами озимой пшеницы не достигнет 45–55 %;

3 Инерционностью (длительностью действия какого-либо фактора). Например, щели, нарезанные по пласту многолетних трав после промерзания почвы с поверхности 4–5 см и заполненные соломой или каким-либо другим мульчирующим материалом, способны поглощать сток талых вод в течение двух лет. То же самое, но с гораздо большим сроком действия, относится к канавам, заполненным органическим наполнителем;

4 Адаптивностью (приспособляемостью). Системы способны относительно быстро реагировать на изменение внешних условий, например, особенности формирования поверхностного стока;

5 Универсальностью. В зоне совместного проявления эрозии и дефляции система компенсационных мероприятий должна быть универсальной по отношению к обоим видам деградации почвенного покрова, т. е. обеспечивать защиту последнего от смыва и выдувания по возможности одними и теми же приемами до контролируемых величин;

6 Кибернетичностью (саморегулируемостью). Это способность быстро восстанавливаться после экстремальных возмущений внешней среды до оптимального уровня.

Проведенные исследования позволили выявить соотношения между параметрами пространственного строения системы компенсационных мероприятий и

количественными характеристиками поверхностного стока. Оптимальная ширина контурных полос должна составлять 50–60 м при условии применения на водосборном бассейне контурно-полосного размещения культур и агрофонов, специальных агротехнических приемов. Внутрисистемное регулирование стока слоем 60–100 мм обеспечивают лесные полосы шириной 12–15 м, совмещенные с гидросооружениями, имеющими рабочую высоту вала 0,3–0,5 м, глубину канавы 0,5–0,7 м. Расстояние между лесными полосами, усиленными валами-канавами, на склонах до 5° должно составлять 250–300 м, что соответствует расчетам ВНИАЛМИ, а облесенность пашни составит 5,1 % [212, 227].

В зависимости от слоя стока система на второй агроландшафтной полосе может быть завершенной или представлена ее вариантной формой. Так, при слое стока 60–100 мм система должна состоять из всех элементов: контурно-полосное размещение культур, специальные агротехнические приемы, лесные полосы, усиленные простейшими гидротехническими сооружениями (таблица 172). При меньших слоях стока возможно исключение из противозэрозионной системы 1–2 элементов или проведение специальных агротехнических приемов чересполосно.

Таблица 172 – Оптимальная модель системы компенсационных мероприятий для различной обеспеченности стока

Мероприятие	Объем стока 10%-й вероятности превышения, мм				
	20	40	60	80	100
1 Контурно-полосное размещение культур и агрофонов	–	+	+	+	+
2 Проведение специальных агротехнических приемов:					
- лункование, бороздование, поделка микролиманов и др. на зяби и посевах пропашных	+	+(чересполосно)	+	+	+
- создание мелкого микрорельефа на чистых парах в летний период	+	+	+	+	+
- щелевание посевов озимой пшеницы и многолетних трав	+	+(чересполосно)	+	+	+
- обработка почвы с сохранением стерни на поверхности	+	+	+	+	+
				(на ветроударных склонах)	
Водорегулирующие и прибалочные лесные полосы	+	+	+	+	+
Простейшие гидротехнические сооружения:					
- на пашне в сочетании с контурно-полосным размещением	–	–	+	+	+
- в сочетании с лесными полосами	–	–	+	+	+
Примечание – «–» – мероприятие не проводится; «+» – мероприятие проводится.					

11.5.3 Система почвозащитных мероприятий для третьей агроландшафтной полосы

К третьей агроландшафтной полосе относятся склоны крутизной более 4,5–5,0°, примыкающие в нижней части к балочным землям. Интенсивность протекания эрозионных процессов высокая, что связано с «гофрированностью» склонов, т. е. наличием большого количества ложбин и лощин. Потоки воды, поступая с вышерасположенных участков, концентрируются в них, вызывая значительный смыв и размыв почвы.

В качестве элемента организации территории выступали стокорегулирующая и прибалочная лесные полосы, совмещенные по тальвегу ложбин и лощин с гидротехническими сооружениями в виде валов, канав, запруд. Между лесными насаждениями сельскохозяйственные культуры (агрофоны) располагались в виде контурных полос шириной 40–50 м, но с таким расчетом, чтобы непосредственно у прибалочной лесной полосы размещались многолетние травы. Из специальных агротехнических приемов применялись только те, которые способствуют увеличению водопоглощения: щелевание, кротование, почвоуглубление и др. Создание водозадерживающего нанорельефа оказалось действенным только в самом начале зарождения ложбин. По мере углубления тальвега и нарастания крутизны склона микролиманы, лунки, борозды не оказывали заметного влияния на сокращение стока талых вод и смыв почвы. Более того, именно в этих случаях проявлялся «лавинный эффект» сброса воды при переполнении микроемкостей, что вызывало усиленный смыв почвы.

Особенно значима роль полосы многолетних трав, непосредственно прилегающей к прибалочной лесной полосе. Во-первых, она кольматирует твердый сток, поступающий с вышерасположенных участков, предохраняя тем самым гидротехнические сооружения и водные источники от заиления и увеличивая продолжительность их функционирования. Во-вторых, надежно противостоит размывающему действию концентрированного потока воды по тальвегу ложбин, препятствуя образованию линейных форм размыва. В-третьих, служит водоток для безопасного сброса излишков талых и дождевых вод. В-четвертых, стабилизирует и улучшает свойства почвы. Все вышперечисленные качества полосы многолетних трав перед прибалочной лесной полосой указывают на ее незаменимость.

В отношении такого важного момента конструирования компенсационной системы на третьей агроландшафтной полосе, как облесенность пашни, несложные расчеты показывают, что она должна составлять 6–6,5 %.

11.5.4 Компенсационные мероприятия на овражно-балочных землях

Земли овражно-балочных систем относятся к категории ограниченно используемых в сельскохозяйственном производстве и имеют низкую продуктивность (четвертая агроландшафтная полоса). Используются они преимущественно как сенокосные пастбища с большой нагрузкой, что приводит к выбиванию и разрушению естественного травостоя. Их биологическая продуктивность в степной зоне не превышает 3–7 ц/га сена низкого качества.

Из-за постоянной перегрузки, отсутствия надлежащего ухода, развития процессов эрозии происходит процесс ухудшения видовой разнообразия, антропогенного опустынивания. Процесс эрозии сопровождается, с одной стороны, смывом (размывом) почвогрунта, с другой – аккумуляцией наносов в присетевой и гидрографической частях водосбора. Создание аккумуляющих систем в оврагах и бал-

ках способствует снижению процесса размыва путем полного или частичного осаждения твердого стока. Образование мощного тела наносов непосредственно в оврагах или по участкам балок способствует деконцентрации донных потоков, осветлению вод местного стока [117].

Исходя из этого, система компенсационных мероприятий овражно-балочных земель должна строиться несколько иначе, чем на пахотных склонах: в основу должны быть положены элементы компенсационной системы, обеспечивающие максимальную аккумуляцию твердых наносов.

Создание такой системы должно включать следующие виды работ:

- заравнивание промоин на приовражных, прибалочных участках и берегах балок;
- выполаживание действующих оврагов с одновременным устройством гидротехнических сооружений, предотвращающих возникновение новых размывов;
- устройство распылителей стока и противоэрозионных гидротехнических сооружений (водозадерживающих и водоотводящих валов, дамб, перемычек, донных сооружений);
- создание приовражных, прибалочных лесных насаждений по берегам оврагов и балок, а также илофильтров по днищу балок;
- нарезку террас по откосам балок с последующим их залужением или посадкой древесных пород.

С позиции иерархической упорядоченности составляющих элементов данная система выглядит следующим образом: организация территории осуществляется через выполаживание действующего оврага, размещение лесных полос (кулис), простейших гидротехнических сооружений по горизонталям рельефа, илофильтров по дну гидрографической сети, нарезка террас различного назначения на склонах более 5°. При посадке древесных насаждений особое внимание обращается на породный состав, на свойства почвы и условия, способствующие их лучшей приживаемости. Простейшие гидротехнические сооружения для лучшего их функционирования совмещаются с лесными полосами. Фитоформы травянистой растительности в виде трехкомпонентной смеси применяются для залужения участка выположенного оврага и террас с широким основанием.

Такая система обеспечит поэтапно аккумуляцию твердого стока, причем практически полное очищение поверхностного стока от твердых наносов осуществляется на последнем этапе системы – илофильтрах и в дамбах-перемычках. Это позволит резко снизить заиление и загрязнение водных источников биогенными веществами, что является одной из основных задач оптимизации агроакваландшафтов и охраны окружающей среды.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Показатели и нормативы для расчета ущерба,
наносимого водным объектам поверхностным стоком

Таблица А.1 – Коэффициент, учитывающий время года причинения вреда $K_{вг}$

Месяц	Коэффициент $K_{вг}$
Декабрь, январь, февраль	1,00
Март, апрель, май	1,15
Июнь, июль, август	1,10
Сентябрь, октябрь, ноябрь	1,00

Таблица А.2 – Коэффициенты, учитывающие длительность воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации $K_{дл}$ [112]

Время непринятия мер по ликвидации загрязнений, ч	Значение коэффициента $K_{дл}$
До 6 включительно	1,05
Более 6 до 12 включительно	1,10
13 до 18	1,15
19 до 24	1,20
25 до 30	1,25
31 до 36	1,30
37 до 48	1,35
49 до 60	1,40
61 до 72	1,45
73 до 84	1,50
85 до 96	1,55
97 до 108	1,60
109 до 120	1,65
121 до 132	1,70
133 до 144	1,75
145 до 156	1,80
157 до 168	1,85
169 до 180	1,90
181 до 192	1,95
193 до 204	2,00
205 до 216	2,05
217 до 228	2,10
229 до 240	2,15
241 до 250	2,20
251 до 300	2,25
301 до 400	2,30
401 до 500	2,35
Более 500	2,40

**Таблица А.3 – Коэффициенты, учитывающие экологические факторы
(состояние водных объектов) [112]**

Наименование водного объекта (бассейны реки, озера и моря)	Коэффициент K_B
Нева	1,51
Неман	1,21
Реки бассейнов Ладожского, Онежского, Ильмень и указанные озера	2,10
Прочие реки бассейна Балтийского моря	1,18
Северная Двина	1,36
Прочие реки бассейна Белого моря	1,16
Печора	1,37
Прочие реки бассейна Баренцева моря	1,22
Волга	1,41
Терек	1,55
Урал	1,60
Сулак, Самур	1,45
Прочие реки Каспийского моря	1,39
Дон	1,29
Кубань	2,20
Прочие реки Азовского моря	1,64
Днепр	1,33
Прочие реки Черного моря	1,95
Обь	1,22
Енисей	1,36
Прочие реки Карского моря	1,23
Лена	1,27
Прочие реки моря Лаптевых	1,18
Бассейн озера Байкал и озеро Байкал	2,80
Реки бассейна Восточно-Сибирского моря	1,15
Реки бассейнов Чукотского и Берингова морей	1,2
Амур	1,27
Прочие реки Охотского и Японского морей	1,32
Прочие реки Тихого океана	1,20
Озера	1,80
Азовское, Каспийское до 10 км (от береговой линии) более 10 км	1,25 1,1
Черное до 10 км (от береговой линии) более 10 км	1,15 1,05
Балтийское, Белое, Баренцево, Японское до 10 км (от береговой линии) более 10 км	1,05 0,95
Карское, Охотское, Берингово, Тихий океан до 10 км (от береговой линии) более 10 км	1,02 0,9
Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское до 10 км (от береговой линии) более 10 км	1,0 0,85

Таблица А.4 – Таксы для исчисления размера вреда от загрязнения водных объектов органическими и неорганическими вредными (загрязняющими) веществами

Вещество с ПДК _{р/х} в интервале	H_i , тыс. руб./т
Более 40 мг/л (азот нитратный, хлориды, сульфаты, магний, кальций, калий, натрий)	6
5,0–39,9 мг/л (ХПК, общая жесткость)	12
2,0–4,9 мг/л (БПК _{полн})	170
0,2–1,9 мг/л (железо, фосфаты, азот аммонийный)	280
0,06–0,19 мг/л (азот нитритный, цинк)	510
0,02–0,05 мг/л (алюминий, нефтепродукты, мышьяк)	670
0,006–0,019 мг/л (марганец, свинец, никель)	4350
0,003–0,005 мг/л (кадмий)	4800
0,001–0,002 мг/л (медь, фенолы)	12100
Менее 0,001 мг/л (ртуть, ДДТ)	196000
Взвешенные вещества (1000 мг/л)	45

Пример расчета массы поступления биогенных элементов и загрязняющих веществ в водотоки

Приводится пример расчета содержания биогенных элементов в кг на 1 га.

По данным проектов землеустройства или специального почвенного и агрохимического обследования определяется наличие питательного элемента в пахотном слое почвы. Например, P_2O_5 по картограмме в черноземе обыкновенном содержится 28 мг/кг.

Обычно стоками затрагивается в основном пахотный (например, 0–22 см) слой почвы, поэтому следует знать массу почвы в этом слое, который зависит от объемной массы d .

Масса 1 га почвы = $h \cdot d \cdot 10000$, т.

При $h = 0,22$ м и объемной массе $d = 1,25$ м³/т масса пахотного слоя с 1 га почвы составит 2750 т. Значит, в пахотном слое 1 га почвы по картограммам содержится 70 кг д. в. растворимого P_2O_5 .

К наличию элемента, содержащегося в самой почве, следует добавить количество элемента, поступившего с минеральными и органическими удобрениями. Например, было внесено 40 кг д. в. P_2O_5 под озимую пшеницу. На формирование ее урожая (60 ц/га) пошло 72 кг P_2O_5 . В пахотном слое почвы осталось 38 кг/га (70 кг + 40 кг – 72 кг). Жидким стоком ливневого дождя смывается 0,016 кг P_2O_5 (38 кг/га × $K_{\text{вын}}$). Коэффициент выноса определяется по уравнениям регрессии, представленным в таблицах 157 и 158. В почве после поверхностного стока и выноса P_2O_5 с жидкой фазой (0,016 кг/га) остается 37,98 кг/га. Масса смытой почвы $W_{\text{п}}$, рассчитанной по таблице 163, составила 4 т.

Значит, в пахотном горизонте 1 га при массе почвы 2750 т содержится растворимого фосфора 37,98 кг, а в 4 т смытой почвы – 0,055 кг/га (4 т × 37,98 кг / 2750 т). Следовательно, масса i -го элемента, смытая с твердой фазой поверхностного стока, составила 0,055 кг/га в 4 т смытой почвы.

Таблица А.5 – Примерная суточная масса экскрементов от одного животного

Производственная группа КРС	Масса экскрементов, кг
Быки-производители	40
Коровы	53
Телята до 6 месяцев на откорм	7,5
Молодняк на откорме	
4–6 мес.	14
6–12 мес.	26
старше 12 мес.	35
Хряки-производители	11,8
Свиноматки	8,8
Свиньи на откорме и ремонтный молодняк живой массой	
до 40 кг	3,5
40–80	5,1
более 80	6,6
Лошади	35
Птицы	0,3

Таблица А.6 – Содержание в навозе и помете биогенных элементов (% от сухого вещества свежих экскрементов)

Вид животного	Биогенное вещество			
	Азот аммонийный	Азот нитратный	Азот общий	Фосфор минеральный
Крупный рогатый скот	0,14	0,31	0,45	0,23
Молодняк	0,14	0,31	0,45	0,23
Свиньи	0,20	0,25	0,45	0,19
Лошади	0,19	0,39	0,58	0,28
Птицы	0,52	1,58	2,1	1,44

Таблица А.7 – Количество примесей, задерживаемых почвой (в долях от единицы)

Показатель, характеризующий состав навоза	Вид органики			
	Навоз			
	лошадиный	коровий	свиной	птичий
Общий азот	0,0060	0,005	0,005	0,010
Азот аммонийный	0,0030	0,0025	0,0035	0,0050
Азот нитратный	0,0030	0,0025	0,0015	0,0050
Фосфор	0,0022	0,0020	0,0025	0,0035

Таблица А.8 – Поправочный компенсационный коэффициент на удаленность ближней границы сельхозугодия от водотока

Удаленность от водного объекта x , км	K_L	Уравнение регрессии
0	3,0	$K_L = 2,2758 \cdot e^{0,6663x}$ при $R^2 = 0,93$
0,3–0,5	1,8	
0,5–1,0	1,2	
1,0–2,0	1,1	
2,0–2,5	0,7	
Более 3	0,3	

Таблица А.9 – Поправочный компенсационный коэффициент на насыщенность овражной сетью

Густота овражно-балочной сети, км/км ²	K _{ов}	Густота овражно-балочной сети, км/км ²	K _{ов}	Уравнение регрессии
0,2	0,8	1,2	1,3	K _{ов} = 0,0568·x ² + +0,3629·x+0,7233 при R ² = 0,97
0,4	0,9	1,4	1,3	
0,6	0,9	1,6	1,5	
0,8	1,1	1,8	1,5	
1,0	1,1	2,0	1,7	

Таблица А.10 – Влияние уплотненности пашни на поверхностный сток K_{уп}

Математическая модель	Обозначение показателей и единицы измерения
<p>Для уплотненной пашни</p> $K_{уп} = -0,653773 + 0,015459 \cdot a - 0,001979 \cdot b + 0,003283 \cdot c + 0,307516 \cdot d, \quad R^2 = 0,84$ <p>Для зяби (рыхлой пашни)</p> $K_{уп} = -2,03816 + 0,01215 \cdot a + 0,00406 \cdot b + 0,03570 \cdot c + 0,64158 \cdot d, \quad R^2 = 0,97$	<p>K_{уп} – коэффициент стока дождевых вод по пашне;</p> <p>a – запасы воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм;</p> <p>b – глубина промерзания почвы, см;</p> <p>c – влажность верхнего 0–30 см слоя почвы, %;</p> <p>d – водопроницаемости почвы в период стока, мм/мин</p>
<p>Дождевые воды по пару (зяби)</p> $K_{уп} = 0,014063 + 0,090330 \cdot I - 0,056097 \cdot d + 0,063346 \cdot P_{ин}, \quad R^2 = 0,97$	<p>K_{уп} – коэффициент стока дождевых вод по зяби;</p> <p>I – уклон, град.;</p> <p>d – водопроницаемость почвы, мм/мин;</p> <p>P_{ин} – интенсивность осадков, мм/мин</p>

Таблица А.11 – Поправочный компенсационный коэффициент на степень проективного покрытия поверхности почвы растениями, для дождевых (ирригационных) вод

Величина проективного покрытия x, %	Культура или агрофон	K _{пп}	Уравнение регрессии
0	Чистый пар	1,00	K _{пп} = -0,19066·Ln(x) + +0,9002 при R ² = 0,89
10–20	Пропашные	0,45	
20–30	Пропашные	0,35	
30–40	Пропашные	0,17	
20–40	Яровые колосовые	0,30	
30–50	Озимые колосовые	0,16	
40–60	Однолетние травы	0,10	
60–80	Многолетние травы	0,04	

Таблица А.12 – Поправочный компенсационный коэффициент на уклон поверхности почвы

Уравнение регрессии		Обозначение показателя и единицы измерения	Интервал значений
по уплотненной пашне	по рыхлой пашне		
$K_{ук} = 0,292798 + 0,052163 \cdot I - 0,002957 \cdot a + 0,004154 \cdot H_T - 0,001243 \cdot W,$ $R^2 = 0,93$	$K_{ук} = 0,098384 + 0,074382 \cdot I - 0,002477 \cdot a + 0,010160 \cdot H_T - 0,004999 \cdot W,$ $R^2 = 0,87$	$K_{ук}$ – коэффициент стока от уклона;	0,33–0,74
		I – уклон поверхности почвы, град.;	0,5–9,0
		a – запасы воды в снеге перед снеготаянием + осадки в период таяния, мм;	4,5–70,7
		H_T – объем стока талых вод, мм;	1,7–44,9
		W – смытая почва, т/га	0,1–67,7
$K_{ук} = 1,525 \cdot I + 0,0235 \cdot d - 3,15 \cdot P_{ин} - 3,19 \cdot I \cdot d + 2,24 \cdot I \cdot P_{ин} + 5,35 \cdot d \cdot P_{ин},$ $R^2 = 0$		$K_{ук}$ – коэффициент стока от уклона;	0–0,71
		I – уклон поверхности почвы, град.;	0–9,0
		d – водопроницаемость почвы, мм/мин;	0,45–1,2
		$P_{ин}$ – интенсивность осадков, мм/мин	0,5–2,1

Карты-схемы зонирования территории Российской Федерации по условиям стока талых вод, интенсивности дождей приведены на рисунках А.1, А.2, А.3.



Рисунок А.1 – Карта интенсивности дождей продолжительностью 20 минут (л/с с 1 га) при периоде однократного превышения расчетной интенсивности, равном одному году (q_{20})



Рисунок А.3 – Карта зонирования территории Российской Федерации по условиям стока талых вод

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Примеры расчета ущерба, нанесенного водным объектам поверхностным стоком, и разграничение ответственности землепользователей за ущерб

Пример № 1. Исчисление ущерба от поступления загрязняющих веществ в водный объект р. Белая

На р. Кубань натурными наблюдениями установлено, что на втором гидрохимическом створе с 01.03.2007 по 15.04.2007 г. в воде содержалось превышающее ПДК_{р/х} и фоновое загрязнение количество азота аммонийного с концентрацией от 59 до 63 мг/дм³, при среднем его содержании 61 мг/дм³, а на первом (от верховья реки) створе азота аммонийного содержалось в пределах ПДК. Мобильными группами было определено, что это биогенное вещество поступает из р. Белая, впадающего в р. Кубань. На водосборе ручья Белая (общая площадь водосбора 25000 га) располагаются сельхозугодия трех хозяйств: ООО «Знамя», ООО «Колос» и ООО «Нива». Вынос NH₄ наблюдался после прошедших ливневых осадков.

Средний расход воды в ручье, измеренный мобильными группами, за этот же период составил 0,11 м³/с в течение 16 ч.

Установление виновника загрязнения по натурным измерениям не представляется возможным, так как на период исчисления ущерба (20 апреля 2007 г.) факт загрязнения отсутствует.

Порядок расчета.

1) Определяем размер ущерба, причиненный водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе твердой и жидкой фазы поверхностного стока, по формуле (62):

$$Y = K_{\text{вг}} \cdot K_{\text{дл}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{ин}} \cdot K_{\text{сэз}} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{из}} + Y_{\text{заил}} \cdot K_{\text{ин}},$$

где Y – размер ущерба, тыс. руб.;

$K_{\text{вг}} = 1,15$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года, определяется в соответствии с таблицей А.1 приложения А;

$K_{\text{дл}} = 1,15$ – коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации, определяется в соответствии с таблицей А.2 приложения А;

$K_{\text{в}} = 2,20$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов), определяется в соответствии с таблицей А.3 приложения А (для реки Кубань он равен 2,20);

$K_{\text{ин}} = 1,00$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

$K_{\text{сэз}} = 1,0$ – коэффициент социально-экономической значимости хозяйствующего субъекта, допустившего поступление ЗВ в ПВО с поверхностным стоком, устанавливается для хозяйствующего субъекта по согласованию с МПР, может изменяться от 1,0 до 0,1;

$H_i = 280$ тыс. руб. – таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты, определяется в соответствии с таблицей А.4 приложения А;

$K_{\text{из}} = 1,0$ коэффициент интенсивности воздействия в пределах 1–10 ПДК_{р/х} (таблица 156);

$U_{\text{заил}}$ – ущерб от заиления ПВО, определяется согласно разделу 6.3.7, тыс. руб.

Остается неопределенной M_i – масса сброшенного загрязняющего вещества NH_4 , т. Она определяется как сумма массы ЗВ, поступившего с жидким и твердым стоками, т/га.

2) Масса поступивших ЗВ в водные объекты, находящиеся на одном крупном водосборе ручья, определяется по формуле (73):

$$M_i = \sum (M_{\text{ози}} + M_{\text{рек}i} + M_{\text{овр}i} + M_{\text{мел}i}).$$

С учетом того, что $M_{\text{ози}}$, $M_{\text{овр}i}$ и $M_{\text{мел}i}$ в данном случае не имеют место, то их значения в формуле принимаются равными нулю (0,0). Тогда масса ЗВ, поступивших из ручья, приравнивается $M_{\text{рек}i}$ или $M_{\text{овржидк ст}i}$ и определяется по формуле (80):

$$M_{\text{рек}i} = Q_{\text{рек}} \cdot C_{\text{рек}i} \cdot 10^{-6} \cdot T \cdot 3600,$$

где $M_{\text{рек}i}$ – масса вредного i -го вещества, поступившего в реку, т;

$Q_{\text{рек}} = 0,11$ – объем стока в устье ручья, $\text{м}^3/\text{с}$;

$C_{\text{рек}i} = 22$ $\text{мг}/\text{дм}^3$ – концентрация NH_4 загрязняющего вещества, превышающего ПДК_{р/х} на нижнем створе ($61 \text{ мг}/\text{дм}^3 - 39 \text{ мг}/\text{дм}^3 \text{ ПДК} = 22 \text{ мг}/\text{дм}^3$);

10^{-6} – коэффициент перевода массы ЗВ из $\text{мг}/\text{дм}^3$ в $\text{т}/\text{м}^3$;

T – время, в течение которого производилось загрязнение, сут;

3600 – коэффициент перевода секунд в часы.

Рассчитаем, сколько поступило NH_4^+ в реку Кубань через устье ручья Белая:

$M_{\text{рек}i} = 0,11 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 22 \text{ мг}/\text{дм}^3 \cdot 0,000001 \cdot 16 \text{ ч} \cdot 3600 = 0,139 \text{ т } \text{NH}_4^+$ поступило в ручей.

3) В период ливней наблюдался и твердый сток. Твердый сток в реку Кубань поступал в виде ила (ил + пыль), и его количество определяется по мутности стока. Инструментальные измерения в период загрязнения показали, что средняя мутность $C_{\text{ил}}$ составила $900 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Объем поступившего ила определяем по формуле:

$$W_{\text{тв. ст.}} = Q_{\text{ст.}} \cdot K_{\text{мутн.}} \cdot 10^{-6}.$$

Определяем объем стока:

$Q_{\text{ст.}} = Q_{\text{рек}} \cdot T \cdot 3600 = 0,11 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 16 \cdot 3600 = 6336 \text{ м}^3$ объем стока, тогда:

$W_{\text{тв. ст.}} = 6336 \text{ м}^3 \cdot 900 \text{ мг}/\text{дм}^3 \cdot 0,000001 = 5,7 \text{ т}$.

Расчеты показали, что в реку Кубань поступило 5,7 т ила (наилка и мелкозема).

4) Рассчитаем ущерб от заиления.

Средние удельные затраты на очистку малых рек от ила и мелкозема драглайном равняется в среднем 250 руб. за 1 м^3 мелкозема), тыс. руб.

Так как объемы работ по очистке рек рассчитывают по объему грунта, а не по массе, необходимо массу $M_{\text{тв. ст.}}$ поступившего ЗВ пересчитать в объем грунта $W_{\text{гр}}$, умножив на объемную массу сухого ила $0,9 \text{ т}/\text{м}^3$. Ущерб от заиления равен:

$$U_{\text{заил}} = W_{\text{тв. ст.}} \cdot Z_{\text{оч.}} \cdot \alpha = 5,7 \cdot 0,250 \cdot 0,9 = 1,28 \text{ тыс. руб.}$$

Ущерб от заиления составил 1,28 тыс. руб.

5) Рассчитаем ущерб со всего водосбора, вставив все значения в формулу (62): $U = 1,15 \cdot 1,15 \cdot 2,20 \cdot 1,0 \cdot 280 \cdot 0,139 \cdot 1,0 + 1,28 = 114,5 \text{ тыс. руб.}$

Общий исчисленный ущерб с водосбора составил 114,5 тыс. руб.

Далее, если виновником загрязнения является один землепользователь, то он возмещает весь ущерб, если на водосборе несколько землепользователей, то производим расчет доли поступления массы ЗВ от каждого j -го хозяйствующего субъекта и разграничиваем ответственность за ущерб каждым j -м хозяйствующим субъектом.

Пример разграничения ответственности каждого j -го хозяйствующего субъекта за сток ЗВ рассчитывается по примерам 2 или 3 приложения Б.

Пример № 2. Разграничение ответственности землепользователей за загрязнение поверхностных водных объектов по косвенным показателям с применением компенсационных мероприятий

На створе № 2 в устье реки Россошь Суровикинского района Волгоградской области гидрохимическими наблюдениями в период выпадения ливневых дождей с 10 по 12 апреля 2007 г. установлено превышение ПДК_{р/х} (ПДК_{р/х} = 40 мг/дм³) по содержанию азота нитратного (NO₃). В среднем концентрация ЗВ составила 65 мг/дм³, т. е. превышение ПДК_{р/х} на 25 мг/дм³. Загрязненные воды поступали с перерывами в течение 18 часов.

Анализ гидрологической обстановки показал, что основное поступление нитратов происходило после выпадения ливневых дождей 9 и 11 апреля текущего года. По данным метеостанции Суровикино, выпало соответственно 25 и 42 мм ливневых осадков со средней интенсивностью 1,5 и 0,9 мм/мин. Они выпадали соответственно 17 минут (разово) и 47 минуты (с перерывами по времени).

Необходимо найти виновника загрязнения. Для этого в марте месяце были созданы две мобильные группы, и установлены временные посты наблюдений.

Мобильной группой было установлено, что основное загрязнение воды в реке происходит водами, стекающими в реку Россошь из балки Глубокая, являющейся частью водосбора реки Россошь.

На водосборе этой балки расположены земли двух крупных землепользователей с общей площадью сельхозугодий соответственно: ООО «Цимлянское» – 3600 га и ООО «Волгодонское» – 4900 га. Однако только часть площади хозяйств является водосбором этой балки. Расчеты водосбора по схемам землеустройства хозяйств и уклонам показали, что эти части водосбора составляют соответственно 1100 и 2500 га (примеры расчета площади водосбора приводятся ниже).

Средний расход воды в балке Глубокая, установленный мобильной группой по натурным исследованиям, составил 0,5 м³/с. Увеличение стока в реке произошло в основном за счет поверхностного стока с земель сельскохозяйственного использования.

Исчисление ущерба определяется по формуле (62). Определяем известные показатели:

$K_{вр} = 1,15$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года, определяется в соответствии с таблицей А.1 приложения А;

$K_{дл} = 1,15$ – коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации, определяется в соответствии с таблицей А.2 приложения А;

$K_{в} = 1,29$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние

водных объектов), определяется в соответствии с таблицей А.3 приложения А, для реки Дон он равен 1,29;

$K_{ин} = 1,0$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

$H_i = 6$ тыс. руб. – таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного ЗВ в водные объекты определяется в соответствии с таблицей А.4 приложения А. Для азота нитратного = 6 тыс. руб.;

$$K_{сэз} = 1,0;$$

$K_{из} = 1,0$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия вредных ЗВ на водный объект, определяется в соответствии с таблицей 156;

M_i – остается неопределенной только масса сброшенного загрязняющего вещества M_{NO_3} , в тоннах. Она определяется как сумма массы загрязняющего вещества, поступившего с жидким и твердым стоками в тоннах с водосбора или в т/га;

Масса NO_3^- в жидком стоке реки $M_{NO_3, жидкст}$ (т/га) определяют по формуле (69) с учетом того, что это только дождевые воды, поэтому O_t не учитываются ($O_t = 0,0$), тогда формула принимает вид:

$$M_{нс.пр} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot C_i \cdot O_d$$

Среднее значение C_i нам известно: $C_{NO_3} = 65 - 40 = 25$ мг/дм³.

Определяем O_d (м³) по формуле (105). По имеющимся данным средний расход воды из балки Глубокая $Q_{рек} = 0,5$ м³/сек, время поступления ЗВ $t = 18$ ч.

$O_d = 0,5$ м³/с · 18 ч · 3600 = 32400 м³. В расчете на 1 га составит 32400/2600 га = = 12,46 м³/га.

Зная, что $O_d = 32400$ м³ и превышение ПДК_{р/х} составило $C_{NO_3} = 65 - 40 = 25$ мг/дм³ мы можем рассчитать общую массу M_{NO_3} , поступившего со всего водосбора: $M_{NO_3} = 0,000001 \cdot 25$ мг/дм³ · 32400 м³ = 0,81 т поступило массы NO_3 с водосбора. Определяем общий ущерб по формуле (62):

Учитываем, что если заиления в этом случае не было, то $U_{заил} = 0,0$, тогда $U = 1,15 \cdot 1,15 \cdot 1,29 \cdot 1,0 \cdot 6,0 \cdot 1,0 \cdot 0,81 + 0,0 = 8,29$ тыс. руб.

Далее, для разграничения ответственности j -го землепользователя, определяется расчетным методом по косвенным показателям доля поступившей массы ЗВ от каждого j -го хозяйствующего субъекта от общей массы сброса NO_3 (M_{NO_3}).

При этом считаем необходимым отметить, что масса ЗВ, рассчитанная по натурным показателям, не будет совпадать с массой, рассчитанной по косвенным показателям. Однако данный расчет позволяет нам разграничить ответственность землепользователей по косвенным показателям. Других способов расчета на сегодняшний день не разработано. Имеются только натурные методы определения стока и массы ЗВ, однако для больших площадей они будут иметь большие погрешности. Стоимость натурных исследований составляет огромные суммы, поэтому косвенный метод вполне приемлем на современном уровне. После широкого внедрения методов космического зондирования поверхности почвы будет возможность использовать его для определения уклонов, водно-физических и химических свойств почвы и концентрации ЗВ в воде и почве.

Ход расчетов.

1 Определяем возможную концентрацию загрязняющего вещества C_{NO_3} в стоке ливневых вод для каждого j -го хозяйствующего субъекта, мг/дм³.

Для определения коэффициента выноса питательных веществ из почвы $K_{\text{вын}}$ мы используем картограммы хозяйств, находящихся на водосборе и рассчитываем наличие питательных веществ в почве (по сумме внесенных удобрений и выноса их с урожаем и поверхностным стоком, по формуле или отбираем образцы и проводим анализ содержания питательных веществ в почве.

Мы отобрали образцы почвы на всех полях каждого землепользователя и определили, что средневзвешенное содержание в пахотном слое почвы ($h = 0,2$ м) нитратов ($M_{\text{почв}NO_3}$) составило в ООО «Волгодонское» (Π_i) 30 мг/кг и в ООО «Цимлянское» 25 мг/кг.

Масса выноса NO_3 определяется по формуле (133).

Для определения массы ЗВ нам необходимо далее определить $M_{\text{почв}NO_3}$, $K_{\text{вын}i}$ и $K_{\text{комп}}$.

1) Определяем $M_{\text{почв}NO_3}$ в кг/га по формуле:

$$M_{\text{почв}NO_3} = 10 \cdot h \cdot d \cdot \Pi_i$$

где 10 – коэффициент;

$h = 0,2$ м – глубина пахотного слоя, м;

$d = 1,1$ – объемная масса почвы, т/м³;

$\Pi_i = 25$ – содержание NO_3 в почве (ООО «Цимлянское»), мг/кг;

$\Pi_i = 30$ – содержание NO_3 в почве (ООО «Волгодонское»), мг/кг.

Для ООО «Цимлянское» в слое 0,2 м:

$$M_{\text{почв}NO_3} = 10 \cdot 0,2 \cdot 1,1 \cdot 25 = 55 \text{ кг/га.}$$

Для ООО «Волгодонское» в слое 0,2 м:

$$M_{\text{почв}NO_3} = 10 \cdot 0,2 \cdot 1,1 \cdot 30 = 66 \text{ кг/га.}$$

2) Определим $K_{\text{вын}NO_3}$ по уравнению зависимости (из таблиц 157, 158):

ООО «Цимлянское»: $K_{\text{вын}NO_3} = 0,0002 \cdot \Pi_{NO_3} = 0,0002 \cdot 55 \text{ кг/га} = 0,011$;

ООО «Волгодонское»: $K_{\text{вын}NO_3} = 0,0002 \cdot \Pi_{NO_3} = 0,0002 \cdot 66 \text{ кг/га} = 0,013$.

3) Далее рассчитываем поправки к $M_{NO_3\text{жидкст}}$ на компенсационные мероприятия $K_{\text{комп}}$, способствующие снижению поверхностного стока с сельхозугодий, согласно формуле (97).

Для ООО «Волгодонское»:

$K_{\text{п}} = 1$ – тип почв по гранулометрическому составу (таблица 153);

$K_L = 1,2$ – расположенность (удаленность) сельскохозяйственного угодья от водотока (таблица А.8, приложение А);

$K_{\text{об}} = 0,8$ – насыщенность овражной сетью (таблица А.9, приложение А);

$K_{\text{пп}} = 0,42$ – рассчитывается по структуре посевных площадей с учетом коэффициентов проективного покрытия поверхности почвы j -ми растениями j -го землепользователя при стоке дождевых вод (таблица А.11, приложение А);

$K_{\text{ук}} = 1,1$ – уклон местности (таблица А.12, приложение А);

$K_{\text{агр}} = 0,89$ – компенсационные агротехнические мероприятия (таблица 170);

$K_{лес} = 1,0$ – компенсационные лесомелиоративные мероприятия (таблица 111);

$K_{гтс} = 1,0$ – компенсационные простейшие ГТС отсутствуют (таблица 112).

Расчеты коэффициентов приводятся ниже.

Расчет коэффициента $K_{пш}$.

Из отчета хозяйства в ЦСУ по форме 4-с.-х. и схемы размещения посевов в текущем году устанавливаем виды культур и посевные площади на водосборе.

На площади 2500 га посеяно: озимой пшеницы – 750 га (расчет показал, что $K_{пш} = 0,85$), подсолнечника – 600 га ($K_{пш} = 0,35$), кукурузы на зерно – 550 га ($K_{пш} = 0,35$), многолетних трав – 400 га ($K_{пш} = 0,03$) и ячменя – 200 ($K_{пш} = 0,30$).

Определяем $K_{пш}$ средневзвешенное = $(750 \cdot 0,85 + 600 \cdot 0,35 + 550 \cdot 0,35 + 400 \cdot 0,03 + 200 \cdot 0,35) : 2500 = 0,42$.

Расчеты коэффициентов $K_{агр}$, $K_{лес}$, $K_{гтс}$ проводятся на основании обследования водосбора и установления наличия простейших гидротехнических сооружений и лесополос, а по отчетности хозяйства определяем проведенные агротехнические мероприятия (таблицы 111, 112, 170).

Обследования показали, что все лесополосы располагаются друг от друга на расстоянии 1000 м ($K_{лес} = 1,0$), их протяженность 49 км, прибалочные лесные полосы имеют ширину 12 м ($K_{леспр} = 0,8$), их протяженность 3,5 км вдоль балки, средний $K_{лес} = (49 \cdot 1,0 + 3,5 \cdot 0,8) : 53,5 = 0,98$.

Определяем средневзвешенный коэффициент по агротехническим мероприятиям $K_{агр}$.

На площади 2500 га проведено: отвальная обработка на 20–22 см на площади 800 га (расчеты показали, что $K_{агр} = 1,0$); глубокая вспашка на глубину 27–30 см + почвоуглубление на 10–15 см на площади 1100 га ($K_{агр} = 0,80$) и безотвальная (плоскорезная) обработка на глубину 20–22 см на площади 600 га ($K_{агр} = 0,90$).

Средневзвешенный $K_{агр} = (800 \cdot 1,0 + 1100 \cdot 0,80 + 600 \cdot 0,9) : 2500 = 0,89$.

Гидротехнические сооружения отсутствуют $K_{гтс} = 1,00$.

Определяем средний $K_{комп} = 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,42 \cdot 1,1 \cdot 0,89 \cdot 0,98 \cdot 1,0 = 0,39$.

Для ООО «Цимлянское»:

$K_{п} = 1,0$ – тип почв по гранулометрическому составу (таблица 153);

$K_L = 1,0$ – расположенность (удаленность) сельскохозяйственного угодья от водотока (таблица А.8, приложение А);

$K_{ов} = 0,8$ – насыщенность овражной сетью, (таблица А.9, приложение А);

$K_{ук} = 1,0$, так как талые воды отсутствуют;

$K_{пш} = 0,51$ – рассчитывается по структуре посевных площадей с учетом коэффициентов проективного покрытия поверхности почвы растениями при стоке дождевых или ирригационных вод (таблица А.11, приложение А);

$K_{ук} = 1,0$ – уклон местности (таблица А.12, приложение А);

$K_{агр} = 0,90$ – компенсационные агротехнические мероприятия (таблица 170);

$K_{лес} = 0,95$ – компенсационные лесомелиоративные мероприятия (таблица 111);

$K_{гтс} = 1,0$ – компенсационные простейшие ГТС отсутствуют (таблица 112).

Расчеты коэффициентов приводятся ниже.

Расчет коэффициента $K_{пш}$.

Из отчета хозяйства в ЦСУ по форме 4-с.-х. и схемы размещения посевов в текущем году устанавливаем виды культур и посевные площади на водосборе.

На площади 1100 га посеяно озимой пшеницы 400 га ($K_{\text{пш}} = 0,85$), подсолнечника – 100 га ($K_{\text{пш}} = 0,35$), кукурузы на зерно – 200 га ($K_{\text{пш}} = 0,35$), многолетних трав – 300 га ($K_{\text{пш}} = 0,03$) и ячменя – 100 га ($K_{\text{пш}} = 0,35$). Определяем средневзвешенное $K_{\text{пш}} = (400 \cdot 0,85 + 100 \cdot 0,35 + 200 \cdot 0,35 + 300 \cdot 0,03 + 100 \cdot 0,35) : 1100 = 0,45$.

Расчеты коэффициентов $K_{\text{агр}}$, $K_{\text{лес}}$, $K_{\text{гтс}}$ проводятся на основании обследования водосбора и установления наличия простейших ГТС и лесополос, а по отчетности хозяйства определяем проведенные агротехнические мероприятия (таблицы 111, 112, 170).

Обследования показали, что все лесополосы располагаются друг от друга на расстоянии 1000 м ($K_{\text{лес}} = 1,0$), их протяженность 36 км, прибалочные лесные полосы имеют ширину 18 м ($K_{\text{леспр}} = 0,7$), их протяженность 6,5 км вдоль балки. Средний $K_{\text{лес}} = (36 \cdot 1,0 + 6,5 \cdot 0,7) : 42,5 = 0,95$.

Определяем средневзвешенный коэффициент по агротехническим мероприятиям $K_{\text{агр}}$.

На площади водосбора 1100 га проведено: отвальная обработка на 20–22 см на площади 400 га ($K_{\text{агр}} = 1,0$); глубокая вспашка на глубину 27–30 см + почвоуглубление на 10–15 см на площади 500 га ($K_{\text{агр}} = 0,80$) и безотвальная (плоскорезная) обработка на глубину 20–22 см на площади 200 га ($K_{\text{агр}} = 0,90$).

Средневзвешенный $K_{\text{агр}} = (400 \cdot 1,0 + 500 \cdot 0,80 + 200 \cdot 0,9) : 1100 = 0,89$.

Гидротехнические сооружения отсутствуют ($K_{\text{гтс}} = 1,00$).

Определяем средний $K_{\text{комп}} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,51 \cdot 1,0 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot 1,0 = 0,35$.

Подставляем в формулу значения и получаем расчетную массу NO_3 , поступившую с поверхностным стоком:

Для ООО «Цимлянское» $M_{\text{вын.}\text{NO}_3} = 55,0 \text{ кг/га} \cdot 0,011 \cdot 0,001 \cdot 1100 \text{ га} \cdot 0,35 = 0,23 \text{ т}$.

Для ООО «Волгодонское» $M_{\text{вын.}\text{NO}_3} = 66,0 \text{ кг/га} \cdot 0,013 \cdot 0,001 \cdot 2500 \text{ га} \cdot 0,39 = 0,83 \text{ т}$.

Общая расчетная масса ЗВ, поступивших в ПВО с двух хозяйств, составит $M_{\text{вын.}\text{NO}_3} = 0,23 + 0,83 = 1,06 \text{ т}$.

Разграничение ответственности землепользователей определяется пропорционально расчетной массе поступивших ЗВ:

$У_{\text{ср}} = У_{\text{общ}} / M_{\text{вын.}\text{NO}_3} = 8,29 \text{ тыс. руб.} / 1,06 \text{ т} = 7,82 \text{ тыс. руб. за 1 тонну}$.

Сумма, подлежащая возмещению, составит:

для ООО «Волгодонское» – $0,23 \text{ т} \cdot 7,82 \text{ тыс. руб./т} = 1,80 \text{ тыс. руб.}$;

для ООО «Цимлянское» – $0,83 \text{ т} \cdot 7,82 \text{ тыс. руб./т} = 6,49 \text{ тыс. руб.}$

Пример № 3. Разграничение ответственности землепользователей без применения компенсационных мероприятий

Натурными наблюдениями установлено, что загрязнение водного объекта (верховье реки Тузлов) азотом аммонийным, превышающим ПДК, произошло с сельскохозяйственных угодий трех землепользователей: ООО «Колос», ООО «Маяк» и ООО «Береговое».

Поступление массы ЗВ с данного водосбора (11000 га) определено натурными исследованиями в водотоках.

Общая масса ЗВ $\sum M_i$ составила 0,200 т.

Ущерб, причиненный водному объекту, составил 140 тыс. руб. (расчет вели по формуле (62).

С водосбора каждого из хозяйств поступило загрязняющих веществ:

- ООО «Колос» – 0,080 т;

- ООО «Маяк» – 0,070 т;

- ООО «Береговое» – 0,050 т.

Определяем долю ЗВ $d_n \cdot M_i$ поступившего с сельхозугодий каждого хозяйства:

- для ООО «Колос» $d_1 \cdot M_i = M_{i1} / \sum M_i = 0,080 \text{ т} / 0,200 \text{ т} = 0,40$;

- для ООО «Маяк» $d_2 \cdot M_i = M_{i2} / \sum M_i = 0,070 \text{ т} / 0,200 \text{ т} = 0,35$;

- для ООО «Береговое» $d_3 \cdot M_i = M_{i3} / \sum M_i = 0,050 \text{ т} / 0,200 \text{ т} = 0,25$.

Определяем долю ущерба (разграничиваем ответственность), приходящегося на каждого j -го хозяйствующего субъекта (землепользователя):

- для ООО «Колос» – $Y_1 = Y_{\text{общ}} / d_1 \cdot M_i = 140000 \cdot 0,40 = 56000$ руб.;

- для ООО «Маяк» – $Y_2 = Y_{\text{общ}} / d_2 \cdot M_i = 140000 \cdot 0,35 = 49000$ руб.;

- для ООО «Береговое» – $Y_3 = Y_{\text{общ}} / d_3 \cdot M_i = 140000 \cdot 0,25 = 35000$ руб.

Проверяем сумму исчисленного ущерба всех землепользователей:

$Y_{\text{общ}} = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 56000 + 49000 + 35000 = 140000$ руб.

Расчеты произведены верно.

Сумма исчисленного ущерба должна быть внесена в соответствующий уполномоченный банк РФ.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

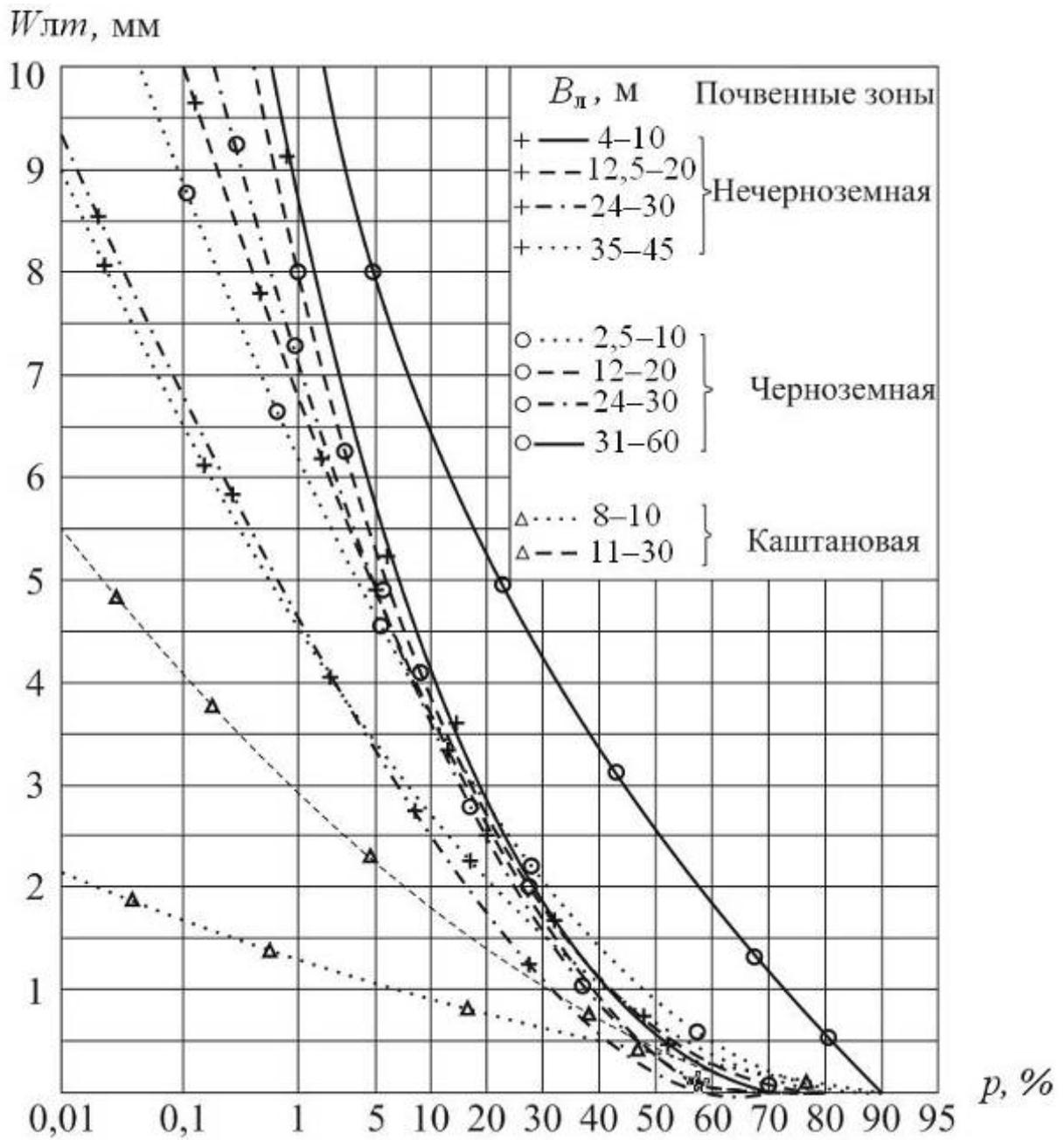
Параметры и величины разной вероятности функции превышения максимального водопоглощения на зяби и уплотненной пашне вне зоны снежных шлейфов лесополос

Область, край, почвы	Агро- фон	Вероятность превышения, %							C_v	C_s	$W_{лт}$, мм	W , мм
		1	5	10	25	30	50	75				
Алтайский, оподзоленный чернозем	I	1100	640	460	240	190	81	7	1,4	2,4	160	57
	II	900	550	400	210	160	56	–	1,8	2,0	120	43
Орловская, се- рая лесная	I	2800	1600	1100	460	390	85	–	2,0	2,6	320	73
	II	3700	2000	1400	590	400	50	–	2,2	3,5	380	69
Курская, тем- но-серая лес- ная	I	2600	1400	920	370	240	–	–	2,6	3,6	220	48
	II	340	240	190	130	110	70	28	0,91	1,3	87	52
Курская, чер- нозем выще- лоченный	I	6300	3400	2200	930	620	10	–	2,5	3,0	580	71
	II	560	340	240	110	100	44	11	1,4	2,6	89	36
Воронежская, чернозем обыкновенный	I	8300	4500	3000	1200	790	–	–	2,6	3,7	740	62
	II	670	380	260	120	89	28	–	1,7	3,8	86	47
Самарская, чернозем обыкновенный	I	7800	4800	3500	1900	1600	690	55	1,4	2,2	1260	96
	II	1300	810	600	330	270	120	6	1,4	2,1	210	82
Саратовская, чернозем юж- ный, темно- каштановый	I	4500	3000	2400	1400	1200	560	–	1,4	1,3	800	79
	II	2400	1300	860	370	260	33	–	2,2	3,5	240	53
Волгоградская, каштановая	I	4200	2500	1800	970	780	330	43	1,4	2,4	660	54
	II	5500	3000	1900	780	500	–	–	2,7	3,5	460	41
Волгоградская, светлокашта- новая	I	3500	2200	1700	920	770	310	–	1,6	1,7	540	43
	II	1800	1000	650	260	170	–	–	2,7	4,6	160	44
Ростовская, чернозем севе- роприазовский	I	360	250	190	120	100	60	18	1,1	1,5	80	43
	II	570	320	220	100	73	19	–	1,8	3,5	69	35

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Параметры максимального водопоглощения
в лесных полосных насаждениях при подтоке талых вод

Ширина насаждения $B_{лб}$, м	Вероятность превышения, %							Коэффициент вариации C_v	Коэффициент асимметрии C_s	Среднее водопоглощение $W_{длб}$, мм
	0,1	1	10	50	60	70	75			
Нечерноземная зона										
4–10	14200	8600	3500	400	150	–	–	1,7	2,6	1100
12,5–20	10200	6500	2800	400	160	–	–	1,7	2,2	900
24–30	7000	4400	1900	330	180	50	–	1,5	2,3	670
35–45	6900	4600	2200	500	290	120	30	1,3	1,8	810
4–45	10700	6400	2500	230	170	60	20	1,6	2,8	860
Черноземная зона										
2,5–10	8900	6000	3000	710	400	140	6	1,4	1,6	1100
12–20	13000	8200	3600	680	400	160	50	1,4	2,3	1300
24–30	11400	7000	2900	340	120	–	–	1,7	2,5	910
31–60	14700	10900	6500	2500	1900	1200	910	0,9	0,9	2900
2,5–60	13800	8900	4100	780	430	120	–	1,4	2,1	1400
Каштановая зона										
8–10	1800	1300	810	320	250	170	130	0,9	0,9	370
11–30	4400	3100	1600	450	270	100	20	1,3	1,2	550
8–30	4000	2700	1400	370	230	120	60	1,2	1,6	530
Все зоны										
2,5–60	12800	7800	3300	480	250	80	5	1,6	2,6	1100

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Кривые вероятности превышения максимального водопоглощения
при подтоке в насаждения в зависимости от почвенных
условий и ширины насаждения



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
Зависимость ширины лесных полос от типа
гидротехнических сооружений и крутизны склонов

Крутизна склонов, град.	Тип сооружений	Рабочая высота земляного вала, м	Ширина ¹⁾ лесной полосы, м	
			степь	лесостепь
1–2 ²⁾	Водозадерживающий или водонаправляющий земляной вал	0,3–0,4	9	8
2,1–3	Канавы с валом	0,4–0,5	9	8
3,1–4	Канавы с валом	0,5–0,7	9	8
4,1–5	Канавы с валом увеличенного размера при подсыпке грунта бульдозером	0,7–0,9	6	6
5,1–6	То же	0,9–1	6	6

¹ Уменьшение ширины полос с увеличением крутизны склонов проводят при одновременном сокращении межполосных расстояний.

² Для районов интенсивного проявления водной эрозии.

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Зональные осредненные величины весеннего максимального водопоглощения при различных способах усиления лесных полос

В мм

Приемы усиления водопоглощения	Весеннее максимальное водопоглощение в зонах		
	нечерноземная	черноземная	каштановая
Биологические			
- мульча	100	500	100
- люпин	–	800	–
- хворост	–	–	300
Гидротехнические			
- борозды	1100	–	–
- валы вне лесополосы	1200	–	–
- валы в лесополосе	2200	3300 (9500)	900
- канавы вне лесополосы	1500	–	–
- канавы в лесополосе	310 (17000)	3600	–
- валы + канавы вне лесополосы	2200 (7000)	2800	–
- валы + канавы в лесополосе	3800	4400	2300
Сочетание биологических и гидротехнических			
- плетневые запруды	–	–	1100
- валы + канавы + мульча (люпин)	–	5000 (12000)	–
Примечание – Перед скобками – фактическое среднее водопоглощение W_c ; в скобках – с учетом экстремально высоких значений $W_{дм}$.			

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Суммарное водопоглощение и слой сокращения полевого стока лесополосами в сочетании с канавами и валами при полевом стоке разной вероятности превышения и ширине лесополосы

В мм

Зона	$p, \%$	S_{Π}	$W_{\text{лт}}$	L_{Π}/B_{Π}					
				500/20		500/10		500/5	
				W_c	ΔS_{Π}	W_c	ΔS_{Π}	W_c	ΔS_{Π}
Нечерноземная	30–40	50	3800	1100	39	1800	35	2800	27
	10	90	–	1700	64	2600	51	3400	33
	5	120	–	2100	79	3000	58	3600	35
	1	170	–	2600	98	3400	66	3800	36
Черноземная	40	35	4400	790	28	1400	27	2400	23
	10	70	–	1400	54	2400	46	3500	34
	5	90	–	1800	66	2800	54	3800	37
	1	120	–	2200	83	3300	63	4100	40
Каштановая	40–50	12	2300	280	7	530	9	930	8
	10	40	–	810	28	1300	25	1900	18
	5	50	–	960	35	1500	28	2000	19
	1	80	–	1300	49	1900	36	2200	21

ПРИЛОЖЕНИЕ Л
Рекомендуемое соотношение видов угодий на крутосклонах
в Европейской части РФ

Зона	Категория площади, предназначенной для освоения							Лес- ные участ- ки
	сельскохо- зяйственного		лесомелиоративного					
	до 8°	8–12°	12–20°	20–35°	более 35°	овраги, обрывы, межовражные выступы	конусы выносов	
Лесо- степь	34,8	24,8	14,9	9,7	0,9	2,2	2,5	9,3
Степь	24,1	18,6	20,9	24,8	2,1	1,6	2,7	5,0

ПРИЛОЖЕНИЕ М
Ширина прирусловых лесных полос и число рядов
в зависимости от состояния руслового берега

В м

Часть реки, ее длина, км	Состояние русловых берегов			
	устойчивые	размывные		намывные
		в нижней части	по всему профилю	
Истоковая, до 10	<u>6–10</u>	<u>6–10</u>	<u>6–10</u>	<u>6–10</u>
	4–6	4–6	4–6	4–6
Верхняя, до 25	<u>6–11</u>	<u>11–13</u>	<u>13–15</u>	<u>10–11</u>
	6–7	7–8	8–10	4–6
Средняя, 25–50	<u>12–14</u>	<u>14–17</u>	<u>17–20</u>	<u>12–14</u>
	8–9	9–11	11–13	8–9
Нижняя, 51–100	<u>15–20</u>	<u>22–24</u>	<u>24–30</u>	<u>12–14</u>
	10–18	13–16	16–20	6–9

Примечание – В числителе – ширина прирусловых лесных полос, в знаменателе – число рядов в зависимости от состояния руслового берега.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Добровольский, Г. В. Избранные труды по почвоведению. Общие вопросы теории и развития почвоведения / Г. В. Добровольский. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – Т. 1. – 525 с.

2 Ковальчик, А. Опустынивание и деградация земель в странах СНГ / А. Ковальчик // Лесное и охотничье хозяйство. Экология. – Вып. 2. – 2010. – С. 17.

3 Добровольский, Г. В. Деградация и охрана почв / Г. В. Добровольский, С. А. Шоба, П. Н. Балабко; под ред. Г. В. Добровольского. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.

4 О борьбе с деградацией сельскохозяйственных земель в государствах – участниках СНГ: решение Экономического совета СНГ от 10 июня 2015 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cis.minsk.by/news.php?id=5196>.

5 О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ: по состоянию на 19 июля 2011 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

6 Земельный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 25.10.2001 № 136-ФЗ: по состоянию на 31.12.2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://base.garant.ru/12124624/1/#block_1000#ixzz3URKRFO1Z.

7 Хубларян, М. Г. Современное состояние природных вод суши и связанные с ним экологические проблемы / М. Г. Хубларян // Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века: материалы науч. конф., посвящ. 85-летию акад. А. Л. Яншина. – М.: Наука, 1998. – С. 87–98.

8 Государственный доклад о состоянии и использовании водных ресурсов РФ в 2005 году (краткая версия). – М.: НИА-Природа, 2006. – 130 с.

9 Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.: распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 № 1235-р: по состоянию на июль 2011 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bestpravo.ru/federalnoje/bz-pravo/u0w.htm>.

10 Раткович, Д. Я. Актуальные проблемы водообеспечения / Д. Я. Раткович. – М.: Наука, 2003. – 352 с.

11 Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2013 году». – М.: НИА-Природа, 2014. – 270 с.

12 Водопотребление и водоотведение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ecodelo.org/3084-vodopotreblenie_i_vodootvedenie-kachestvo_prirodnoi_sredy_i_sostoyanie_prirodnikh_resursov.

13 Показатели водопользования в России по федеральным округам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://protown.ru/information/hide/2843.html>.

14 Безопасность России. Экологическая безопасность, устойчивое развитие и природоохранные проблемы / В. И. Данилов-Данильян [и др.]. – М.: МГФ «Знание», 1999. – 704 с.

15 Райнин, В. Е. О проблеме загрязнения водных экосистем поверхностным стоком / В. Е. Райнин, Л. Б. Зимина-Шалдыбина, П. Ю. Лазич // Труды ВНИИГиМ. – М.: ВНИИГиМ, 1995. – Т. 88. – С. 5–11.

16 Агроэкология / под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. – М.: Колос, 2000. – 536 с.

17 Хубларян, М. Г. Сохранить ресурсы пресных вод / М. Г. Хубларян // Наука в России. – 1977. – № 3. – С. 52–56.

- 18 Данилов-Данильян, В. И. Экологический вызов и устойчивое развитие / В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 416 с.
- 19 Кирейчева, Л. В. Концепция создания устойчивых мелиоративных ландшафтов / Л. В. Кирейчева // Вестник РАСХН. – 1997. – № 5. – С. 51–55.
- 20 Барабанов, А. Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии / А. Т. Барабанов. – Волгоград, 1993. – 155 с.
- 21 Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия / А. Н. Каштанов, И. П. Свинцов [и др.]. – Курск, 2001. – 259 с.
- 22 Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области / Ю. П. Хрусталева, В. Н. Василенко, И. В. Свисюк [и др.]. – Ростов н/Д.: Батайское книжное изд-во, 2002. – 184 с.
- 23 О применении минеральных, органических удобрений и пестицидов (по материалам): Сельское хозяйство как источник химического загрязнения биосферы / рук. Н. Г. Смольянинов: реферат. – М.: Рос. ун-т Дружбы Народов, 2000. – 14 с.
- 24 Литвин, Л. Ф. Почвенно-эрозионная миграция биогенов и загрязнение поверхностных вод / Л. Ф. Литвин, З. П. Кирюхина // Эрозия почв и русловые процессы. – 2003. – № 14. – С. 45–63.
- 25 Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – М.: Изд-во Московского университета, 1996. – 333 с.
- 26 Справочник по гидрохимии / под ред. А. М. Никанопова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 391 с.
- 27 Ступин, В. И. Проблема биогенного загрязнения водных объектов диффузным стоком с водозаборов рек Воронежской области / В. И. Ступин // Вестник ВГУ, 2003. – С. 179–180.
- 28 Мельникова, В. А. Миграция фосфора на сельскохозяйственных водосборах и его вынос водами поверхностного стока / В. А. Мельникова, А. С. Демченко // Изучение процессов формирования химического состава природных вод в условиях антропогенного воздействия. – Ч. 1. – Л., 1987. – С. 109.
- 29 Сурмач, Г. П. Водная эрозия и борьба с ней / Г. П. Сурмач. – Л., 1976. – 256 с.
- 30 Полуэктов, Е. В. Эрозия и дефляция агроландшафтов Северного Кавказа / Е. В. Полуэктов. – Новочеркасск: Темп, 2003. – 297 с.
- 31 Желнакова, Л. И. Некоторые вопросы борьбы с ветровой и водной эрозией на Ставрополье / Л. И. Желнакова, Н. В. Петрова // Научные основы обработки почв на Ставрополье. – Ставрополь, 1983. – С. 73–88.
- 32 Балакай, Г. Т. Влияние способа обработки почвы на водную эрозию / Г. Т. Балакай, Н. И. Балакай, Д. А. Шевченко // Пути повышения эффективности использования орошаемых земель: сб. науч. тр. / под ред. В. Н. Щедрина / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2005. – С. 187–189.
- 33 Балакай, Г. Т. Эрозионные процессы на склонах Ставропольской возвышенности / Г. Т. Балакай, Д. А. Шевченко // Проблемы производства продукции растениеводства на мелиорируемых землях: сб. науч. тр. / СтавГАУ. – Ставрополь: АГРУС, 2005. – С. 144–146.
- 34 Балакай, Г. Т. Регулирование величины водной эрозии поверхностным покровом / Г. Т. Балакай, Д. А. Шевченко // Проблемы производства продукции растениеводства на мелиорируемых землях: сб. науч. тр. / СтавГАУ. – Ставрополь: АГРУС, 2005. – С. 204–205.

35 Балакай, Г. Т. Величина смыва в зависимости от способов основной обработки черноземов / Г. Т. Балакай, Д. А. Шевченко // Проблемы производства продукции растениеводства на мелиорируемых землях: сб. науч. тр. / СтавГАУ. – Ставрополь: АГРУС, 2005. – С. 201–203.

36 Балакай, Г. Т. Влияние стока талых вод на водную эрозию почвы / Г. Т. Балакай, Н. И. Балакай, Д. А. Шевченко // Пути повышения эффективности использования орошаемых земель: сб. науч. тр. / под ред. В. Н. Щедрина / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2005. – С. 190–193.

37 Жилко, В. В. Эрозия почв и борьба с ней в районах с преобладанием талых вод / В. В. Жилко // Эрозия почв и борьба с ней / под ред. акад. ВАСХНИЛ В. Д. Панникова. – М.: Колос, 1980. – 355 с.

38 Ванин, Д. Е. Распространение и интенсивность эрозии / Д. Е. Ванин, А. Г. Рожков, Е. В. Грызлов // Эрозия почв и борьба с ней / под ред. акад. ВАСХНИЛ В. Д. Панникова. – М.: Колос, 1980. – 355 с.

39 Защита почв от водной и ветровой эрозии в Болгарии / Г. Георгиев [и др.] // Эрозия почв и борьба с ней / под ред. акад. ВАСХНИЛ В. Д. Панникова. – М.: Колос, 1980. – 355 с.

40 Кристиана, И. Защита почв от эрозии в Венгрии / И. Кристиана // Эрозия почв и борьба с ней / под ред. акад. ВАСХНИЛ В. Д. Панникова. – М.: Колос, 1980. – 355 с.

41 Юзефацюк, Ч. Агротехнические и мелиоративные приемы защиты почв от эрозии в Польше / Ч. Юзефацюк // Эрозия почв и борьба с ней / под ред. акад. ВАСХНИЛ В. Д. Панникова. – М.: Колос, 1980. – 355 с.

42 Полуэктов, Е. В. Почвозащитные системы в ландшафтном земледелии / Е. В. Полуэктов, Е. П. Луганцев. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. – 208 с.

43 Global estimates of water withdrawals and availability under current and future «business of usual» conditions / J. Alcamo, P. Doell, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Roesch, S. Siebert // Hydrological Sciences J. – 2003. – 48(3). – P. 339–348.

44 Entekhabi, D. An Agenda for Land Surface Hydrology Research and Call for the Second International Hydrological Decade / D. Entekhabi, Ch. Asrar, A. K. Betts et al. // Bull. Amer. Meteorol. Society. – 1999. – № 10. – P. 2043–2058.

45 Kundzewicz, Z. W. Water Resources Systems – Hydrological Risk, Management and Development / Z. W. Kundzewicz. – IASH Publ. – 2003. – № 281. – P. 32–39.

46 Liebscher, H.-L. Conflict over water – can hydrology contribute anything toward their solution / H.-L. Liebscher. – IASH Publ. – 2004. – № 286. – P. 238–245.

47 Global assessment of current water resources using total runoff integrating pathways / T. Oki, Y. Agata, Sh. Kanae, T. Saohashi, D. Yang, K. Musiake // Hydrological Sciences J. – 2001. – 46. – № 6. – P. 983–995.

48 Porporato, A. Ecohydrology – a challenge multidisciplinary research perspective / A. Porporato, I. Rodriguez-Iturbe // Hydrological Sciences J. – 2002. – № 5. – P. 811–821.

49 Mills, W. C. Estimating runoff condition probabilities from rainfall and runoff data / W. C. Mills, W. M. Snyder, A. W. Thomas / Amer. soc. of agr. Engineers. – St. Joseph (Mich.). – 1988. – 5 p.

50 Heatwole, C. D. Basin scale water quality model for flatwoods watersheds / C. D. Heatwole, A. B. Bottcher, L. B. Baldwin, K. L. Campbell / Amer. soc. of agr. Engineers. – St. Joseph (Mich.). – 1986. – 19 p.

51 Rudra, R. P. Estimation of landuse effects on soil hydraulic properties using CREAMS / R. P. Rudra, W. T. Dickinson, G. J. Wall / Amer. soc. of agr. Engineers. – St. Joseph (Mich.). – 1988. – 17 p.

52 Roka, F. M. Incorporating CREAMS with economic modeling to assess economic implications of water quality standards / F. M. Roka, B. V. Lessley, W. L. Magette / Amer. soc. of agr. Engineers. – St. Joseph (Mich.). – 1988. – 19 p.

53 Schwab, P. J. SEDCAD-sediment, erosion, discharge by computer aided design / P. J. Schwab, R. C. Warner / Amer. soc. of agr. Engineers. – St. Joseph (Mich.). – 1988. – 13 p.

54 Drungil, C. E. C. Remote sensing and partial area runoff modeling / C. E. C. Drungil. – Amer. soc. of agr. Engineers. – St. Joseph (Mich.). – 1987. – 10 p.

55 Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ: по состоянию на 11 июля 2014 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

56 Об особо охраняемых природных территориях: Федеральный закон от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ: по состоянию на 24.07.2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/.

57 О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ: по состоянию на 24.07.2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/.

58 Гигиенические требования к безопасности агрохимикатов: СП 1.2.1170-02, утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 23 октября 2002 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

59 О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ: по состоянию на 13.07.2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15265/.

60 О мелиорации земель: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ: по состоянию на 28 ноября 2011 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

61 Об экологической экспертизе: Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ: по состоянию на 13 июля 2015 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

62 Об утверждении Положения о порядке проведения государственной экологической экспертизы: постановление Правительства РФ от 11 июня 1996 г. № 698 // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

63 Об утверждении Положения об осуществлении государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов: постановление Правительства РФ от 25 декабря 2006 г. № 801: по состоянию на 4 марта 2009 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

64 О создании и ведении Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении: постановление Правительства РФ от 21 декабря 1999 г. № 1410: по состоянию на 6 июня 2013 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

65 Об утверждении Положения о водоохраных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах: постановление Правительства РФ от 23 ноября 1996 г. № 1404 // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

66 О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления: постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344:

по состоянию на 24 декабря 2014 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

67 О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию: указ Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440 // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

68 О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития: указ Президента РФ от 4 февраля 1994 г. № 236 // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

69 Конвенция о трансграничном воздействии промышленных аварий (Хельсинки, 17 марта 1992 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_41373.html

70 Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 17 марта 1992 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://worldlaws.narod.ru/konvenc/00076.htm>.

71 Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения: СП 2.1.5.1059-01: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ 25 июля 2001 г.: введ. с 1 октября 2001 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12124072/>.

72 Санитарные правила содержания территорий населенных мест: СанПиН 42-128-4690-88: утв. Минздравом СССР 5 августа 1988 г. № 4690-88 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200029183>.

73 Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления: СанПиН 2.1.7.1322-03: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30 апреля 2003 г. № 80: введ. в действие с 15.06.03 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/4179201/>.

74 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: СанПиН 2.1.7.1287-03: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 17 апреля 2003 г.: введ. в действие с 15.06.03 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/4179179/>.

75 Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения: СанПиН 2.1.4.1110-02: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 14 марта 2002 г. № 10: введ. в действие с 01.06.02 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tehbez.ru/Docum/DocumShow.asp?DocumID=489>.

76 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 2.1.4.1074-01: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 26 сентября 2001 г. № 24: введ. в действие с 01.01.02 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34003/.

77 Гигиенические требования к производству пестицидов и агрохимикатов: СанПиН 1.2.1330-03: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28 мая 2003 г. № 103: введ. в действие с 30.06.03 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gosthelp.ru/text/SanPiN12133003Gigieniches.html>.

78 Гигиенические требования к хранению, применению и транспортировке пестицидов и агрохимикатов: СанПиН 1.2.1077-01: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 31 октября 2001 г.: введ. в действие с 01.02.02 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_572.html.

79 Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Ги-

гиенические требования к охране поверхностных вод: СанПиН 2.1.5.980-00: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22 июня 2000 г.: введ. в действие с 01.01.01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_496.html.

80 Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водоемов. Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: ГН 2.1.5.690-98: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 4 марта 1998 г. № 9: введ. в действие с 04.03.98 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gosthelp.ru/text/GN21569098Orientirovochny.html>.

81 Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ: утв. Главным государственным врачом СССР 1 июля 1985 г. № 3907-85 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://standartgost.ru/g/%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%9F%D0%B8%D0%9D_3907-85.

82 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: ГН 2.1.7.2042-06: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 19 января 2006 г.: введ. в действие с 01.04.06 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gosthelp.ru/text/GN217204206Orientirovochn.html>.

83 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: ГН 2.1.7.2041-06: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 19 января 2006 г.: введ. в действие с 01.04.06 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://snipov.net/c_4655_snip_110042.html.

84 Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: ГН 2.1.5.1316-03: утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27 апреля 2003 года: введ. в действие с 01.05.04 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901862253>.

85 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: ГН 2.1.5.1315-03: утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27 апреля 2003 г.: введ. в действие с 15.06.03 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://snipov.net/c_4655_snip_106307.html.

86 ГОСТ 17.1.3.13-86 (СТ СЭВ 4468-84). Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения. – Введ. 1986-01-07 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://snipov.net/c_4702_snip_98074.html.

87 ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. – Взамен ГОСТ 17.1.3.03-77; введ. 1986-01-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003220>.

88 ГОСТ 27065-86 (СТ СЭВ 5184-85). Качество вод. Термины и определения. – Введ. 1987-01-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-27065-86>.

89 ГОСТ 17.1.3.06-82 (СТ СЭВ 3079-81). Общие требования к охране подземных вод. – Введ. 1983-01-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gosthelp.ru/text/GOST17130682Oxranaprirody.html>.

90 ГОСТ 17.4.2.01-81. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния. – Введ. 1982-08-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17-4-2-01-81>.

91 ГОСТ 17.1.1.01-77 (СТ СЭВ 3544-82). Охрана природы. Гидросфера. Испол-

зование и охрана вод. Основные термины и определения. – Введ. 1978-07-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17-1-1-01-77>.

92 ГОСТ 17.0.0.01-76. Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения. – Введ. 1977-01-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17-0-0-01-76>.

93 Чернега, Л. Г. Проект методики оценки ущербов от загрязнения водных источников / Л. Г. Чернега, И. Е. Куденко. – Харьков: Изд-во отдела водного хозяйства предприятий ВНИИ ВОДГЕО, 1972. – 57 с.

94 Методика определения экономической эффективности водоохраных мероприятий. – М.: Минводхоз СССР, 1980. – 52 с.

95 Методика подсчета убытков, причиненных государству нарушением водного законодательства. – М.: Минводхоз СССР, 1983. – 34 с.

96 Рекомендации для определения ущерба от загрязнения водных источников. – М.: Изд-во Минводхоза СССР, 1973. – 37 с.

97 Временная типовая методика определения экономической эффективности водоохраных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиненного народному хозяйству загрязнением окружающей среды. – М.: Экономика, 1986. – 56 с.

98 Методика «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия». – М.: МПР, 1992. – 52 с.

99 Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. А. В. Караушева. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 285 с.

100 О порядке разработки и утверждения нормативов предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты: постановление Правительства РФ от 19 декабря 1996 г. № 1504 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12724/.

101 Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых сбросов вредных веществ в поверхностные водные объекты. – М.: МПР, 1998. – 38 с.

102 Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты. – М.: МПР, 1998. – 45 с.

103 Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых сбросов вредных веществ в поверхностные водные объекты: уточненная редакция. – М.: МПР, 1999.

104 Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на поверхностные водные объекты. – М.: МПР, 1999.

105 Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба // Экологический бюллетень Правительства Свердловской области. – 1999. – № 10. – 20 с.

106 Методические указания по расчету платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты. – М.: МПР, 1998.

107 Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды: утв. в Минюсте РФ 24 марта 1993 г. № 190 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://consultant.ru /document/cons_doc_LAW_1867/](http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1867/).

108 О порядке утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты: постановление Правительства РФ от 30 декабря 2006 г. № 881 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/2161880/>.

109 Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей: приказ МПР РФ от 17 декабря 2007 г. № 333 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_75809/.

110 О порядке утверждения методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: постановление Правительства РФ от 4 ноября 2006 г. № 639 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12150397/>.

111 Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: приказ МПР РФ от 30 марта 2007 г. № 71. – М., 2007. – 25 с.

112 Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: приказ МПР от 13 апреля 2009 года № 87 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_88197/.

113 Образцов, А. С. Системный подход: применение в земледелии / А. С. Образцов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 304 с.

114 Каштанов, А. Н. Концепция ландшафтной контурно-мелиоративной системы земледелия / А. Н. Каштанов // Земледелие. – 1992. – № 4. – С. 2–4.

115 Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия / А. Н. Каштанов [и др.]. – Курск, 2001. – 260 с.

116 Агромелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов / И. С. Кочетов, А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. – 84 с.

117 Ивонин, В. М. Лесные мелиорации ландшафтов / В. М. Ивонин. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦВШ, 2004. – 279 с.

118 Труды экспедиции, снаряженной Лесным департаментом / под рук. проф. Докучаева. – М.: Сельхозгиз, 1954. – С. 514–542.

119 Козьменко, А. С. Борьба с эрозией почв / А. С. Козьменко. – М., 1949. – 160 с.

120 Сус, Н. Н. Эрозия почв и борьба с ней / Н. Н. Сус. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 350 с.

121 Соболев, С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними / С. С. Соболев. – Т. 1, 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1948, 1961. – 305, 248 с.

122 Брауде, И. Д. Закрепление и освоение оврагов, балок и крутых склонов / И. Д. Брауде. – М.: Сельхозгиз, 1959. – 283 с.

123 Козьменко, А. С. Борьба с эрозией почв / А. С. Козьменко. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 229 с.

124 Заславский, М. Н. Эрозия почв и земледелие на склонах / М. Н. Заславский. – Кишинев, 1966. – 494 с.

125 О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии в РСФСР: постановление СМ РСФСР от 5 июля 1967 г. № 503: по состоянию на 6 июня 1978 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

126 Об утверждении Основ земельного законодательства Союза ССР и союзных республик: Закон СССР от 13 декабря 1968 г. № 3401-VII [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=ESU;n=7122>.

- 127 Каштанов, А. Н. Почвозащитное земледелие / А. Н. Каштанов, М. Н. Заславский. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 208 с.
- 128 Контурно-мелиоративное земледелие: методические рекомендации / В. Г. Ткаченко [и др.]. – Новосибирск, 1982. – 86 с.
- 129 Здоровцев, И. П. Современные научные подходы к конструированию агроэкосистем в условиях сложного рельефа. Агроэкологические принципы земледелия / И. П. Здоровцев. – М., 1993. – С. 40–53.
- 130 Полуэктов, Е. В. Система мероприятий по снижению поверхностного стока и водной эрозии на землях сельскохозяйственного назначения / Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай, Г. Т. Балакай // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 4. – С. 103–106.
- 131 Володин, В. М. Экологические основы оценки и использования плодородия почв / В. М. Володин. – М., 2000. – 336 с.
- 132 Каштанов, А. Н. Основы ландшафтно-экологического земледелия / А. Н. Каштанов, Г. И. Швобс. – М.: Колос, 1994. – 127 с.
- 133 Лопырев, М. Н. Экологизация земледелия на ландшафтной основе / М. Н. Лопырев. – Воронеж, 2004. – 128 с.
- 134 Котлярова, О. Г. Ландшафтная система земледелия Центрально-черноземной зоны / О. Г. Котлярова. – Белгород: Изд-во Белгородской ГСХА, 1995. – 294 с.
- 135 Хубларян, М. Г. Сохранить ресурсы пресных вод / М. Г. Хубларян // Наука в России. – 1977. – № 3. – С. 52–56.
- 136 Кукольщикова, С. Б. Сельское хозяйство как источник химического загрязнения биосферы: реферат / под рук. Н. Г. Смольянинова. – М.: РУДН, 2000. – 15 с.
- 137 Михеев, Н. Н. Природа предъявляет счет / Н. Н. Михеев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. – № 3. – С. 2–6.
- 138 Дуглас, У. Л. Трехсотлетняя война. Хроника экологического бедствия / У. Л. Дуглас. – М.: Прогресс, 1975. – 200 с.
- 139 Проблемы экологии России / К. С. Лосев [и др.]. – М.: ВИНТИ, 1993. – 348 с.
- 140 Gadgil, F. Drinking Water in Developing Countries / F. Gadgil // Annu. Rev. Energy Environ. – 1998. – 23. – P. 253–286.
- 141 Kundzewicz, Z. W. Water and Climate – The IPCC TAR perspective / Z. W. Kundzewicz // Nordic Hydrology. – 2003. – № 34(5). – P. 387–398.
- 142 Giordano, M. The geography of water conflict and cooperation: internal pressure and international manifestations / M. Giordano, A. Wolf // The Geo-graphical J. – 2002. – № 4. – P. 293–312.
- 143 Рюмина, Е. В. Ущерб от экологических нарушений – больше вопросов, чем ответов / Е. В. Рюмина // Экономика природопользования. – 2004. – № 4. – С. 55–65.
- 144 Медведева, О. Е. Проблемы и практика расчета ущерба окружающей среде при обнаружении нарушений природоохранного законодательства: доклад на совещании Росприроднадзора РФ / О. Е. Медведева. – М., 2007.
- 145 Чалов, Р. С. Естественные и антропогенные изменения рек России за историческое время / Р. С. Чалов // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – № 1. – С. 71–78.
- 146 Безднина, С. Я. Экологические основы водопользования / С. Я. Безднина. – М.: ВНИИ агрохимии, 2005. – 222 с.

- 147 Хубларян, М. Г. Современные водные проблемы России и пути их решения / М. Г. Хубларян // Водные проблемы на рубеже веков. – М.: Наука, 1999. – 347 с.
- 148 Бобылев, С. Н. Воздействие изменения климата на сельское хозяйство и водные ресурсы России / С. Н. Бобылев. – М.: Фонд «Защита природы», 2003. – 36 с.
- 149 Данилов-Данильян, В. И. Экологическая безопасность, основные принципы и российский аспект / В. И. Данилов-Данильян, М. Ч. Залиханов, К. С. Лосев. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. – 330 с.
- 150 О формировании качества воды в поверхностных водных объектах, испытывающих антропогенное воздействие / А. П. Нечаев [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. – № 3. – С. 9–10.
- 151 Виноградов, Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока / Ю. Б. Виноградов // Опыт критического анализа. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 312 с.
- 152 Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при изучении водной эрозии. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 61 с.
- 153 Статистические материалы и результаты исследований развития агропромышленного производства России. – М., 2006. – 234 с.
- 154 Агропромышленный комплекс России в 2013 году / Минсельхоз России. – М., 2014. – 268 с.
- 155 Постников, А. В. Поточно-промышленное производство компостов / А. В. Постников, М. Е. Шулепов // Земледелие. – 1992. – № 5. – С. 22–26.
- 156 Шафран, С. А. Комплексные минеральные удобрения / С. А. Шафран // Химизация сельского хозяйства. – 1989. – № 11. – С. 26–30.
- 157 Минеев, В. Г. Химизация земледелия и природная среда / В. Г. Минеев. – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 56 с.
- 158 Сычев, В. Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь / В. Г. Сычев. – М.: ЦИНАО, 2003. – 228 с.
- 159 Сычев, В. Г. Состояние и стратегия развития агрохимического обслуживания сельскохозяйственного производства России на период до 2010 года / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов // Плодородие. – 2004. – № 5. – С. 2–6.
- 160 Романенко, Т. А. Удобрения: значение, эффективность применения / Т. А. Романенко, А. И. Тютюнникова, В. Г. Сычев. – М.: ЦИНАО, 1998. – 376 с.
- 161 Вольфович, С. И. Комплексные азотно-фосфорные удобрения / С. И. Вольфович. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 50 с.
- 162 Дворянкин, А. Е. Комплексные удобрения в хелатной форме на сахарной свекле / А. Е. Дворянкин, А. А. Решетников // Агрохимические приемы повышения плодородия почв и продуктивность с.-х. культур в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: материалы 40-й Междунар. науч. конф. (ВНИИА). – М.: ВНИИА, 2006. – С. 138–140.
- 163 Шафран, С. А. Агрохимическое обоснование применения калийных удобрений в Нечерноземной зоне России / С. А. Шафран, Ф. В. Янишевский // Агрохимия. – 1998. – № 4. – С. 5–17.
- 164 Шафран, С. А. Оптимизация азотного питания зерновых культур при разной обеспеченности дерново-подзолистых почв фосфором и калием: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04/ Шафран Станислав Аронович. – М., 1995. – 51 с.
- 165 Кристалон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://udobreniya/kristalon.php>.
- 166 Хорошкин, А. Б. Применение комплексных многокомпонентных удобрений под полевые культуры на черноземах обыкновенных: автореф. дис. ... канд. с.-х.

- наук: 06.01.04 / Хорошкин Александр Борисович. – Персиановский, 2007. – 24 с.
- 167 Агроэкологический мониторинг в земледелии Краснодарского края: сб. науч. тр., посвященный 75-летию со дня основания Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар, 1997. – 256 с.
- 168 Статистические материалы и результаты исследований развития агропромышленного производства России. – М.: РАСХН, 2003. – 28 с.
- 169 Хомяков, Д. М. Вопросы увеличения потребления минеральных удобрений в Российской Федерации / Д. М. Хомяков, Б. В. Левин // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – № 11. – С. 43–44.
- 170 Малахов, А. С. Агропромышленный комплекс и аграрная политика в России на рубеже XXI века (анализ, оценки, предложения) / А. С. Малахов. – СПб.: ГОУ АМА НЗ РФ, 2000. – 97 с.
- 171 Агропромышленный комплекс России. Состояние, место в АПК мира / Г. А. Романенко [и др.]. – М., 1999. – 540 с.
- 172 Романенко, Г. А. Земельные ресурсы России, эффективность их использования / Г. А. Романенко, Н. В. Комов, А. И. Тютюнников – М., 1996. – 306 с.
- 173 Пряжинская, В. Г. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами / В. Г. Пряжинская, Д. М. Ярошевский, Л. К. Левит-Гуревич. – М.: Физматгиз, 2002. – 496 с.
- 174 ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. – Введ. 01.01.83 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_17.1.3.07-82.
- 175 Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: СанПиН № 4630-88: утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора СССР от 04.07.88 № 4630-88 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://standartgost.ru/g/%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%9F%D0%B8%D0%9D_4630-88.
- 176 Методика определения предотвращенного экологического ущерба: утв. Госкомитетом РФ по охране окружающей среды 08.11.99 № 816. – М., 1999. – 62 с.
- 177 Методические указания по оценке и возмещению вреда, нанесенного окружающей среде в результате экологических правонарушений: утв. Госкомэкологией РФ 06.09.99. – М., 1999. – 58 с.
- 178 Методика расчета выноса биогенных веществ и оценка перспективного состояния загрязненности малых рек. 0212.19-99: утв. М-вом природных ресурсов и охраны окруж. среды Республики Беларусь от 19.11.99 № 331 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belarus.news-city.info/docs/1999by/crxfnmtcgkfnj54494.htm>.
- 179 Методические указания по расчету поступления биогенных элементов в водоемы от рассредоточенных нагрузок и установлению водоохраных мероприятий / под ред. Н. И. Хрисанова. – М.: Союзводпроект, 1988. – 88 с.
- 180 Волосухин, В. А. О прогнозе водности рек Южного Федерального округа в весенне-летний период 2004 г. / В. А. Волосухин // Проблемы и перспективы развития мелиорации, водного и лесного хозяйства: сб. науч. тр., посвященный 75-летию Россельхозакадемии. – М., 2004 г. – С. 18–19.
- 181 Басов, Г. Ф. Гидрологическая роль лесных полос / Г. Ф. Басов, М. И. Грищенко. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 201 с.
- 182 Кузник, И. А. Агролесомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв / И. А. Кузник. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 220 с.
- 183 Львович, М. И. Человек и воды / М. И. Львович. – М.: Географиздат, 1963. – 556 с.

- 184 Сухарев, И. П. Гидрологическая и противоэрозионная роль лесных полос / И. П. Сухарев. – Воронеж, 1966. – 120 с.
- 185 Чеботарев, А. И. О влиянии зяблевой вспашки на сток / А. И. Чеботарев, С. И. Харченко // Труды ГГИ. – Вып. 82. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – С. 34–39.
- 186 Ломакин, М. М. Мульчирующая обработка почвы на склонах / М. М. Ломакин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 183 с.
- 187 Орлов, А. Д. Теоретические основы создания эрозионно устойчивых ландшафтов в Сибири / А. Д. Орлов // Защита почв от эрозии и дефляции. – Новосибирск, 1981. – 332 с.
- 188 Тлеуов, С. С. Противоэрозионная эффективность основной обработки черноземов Северного Казахстана, подверженных водной эрозии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01 / Тлеуов Самат Сагындыкович. – Алма-Ата, 1988. – 23 с.
- 189 Уваров, В. М. Влияние контурных лесных полос на увлажнение склонов / В. М. Уваров, С. Г. Кириченко // Лесомелиорация при контурном земледелии. – Вып. 1(93). – Волгоград, 1988. – 191 с.
- 190 Антонов, В. И. Особенности формирования поверхностного стока талых вод с малых водосборов сухой степи / В. И. Антонов // Противоэрозионная мелиорация. – Вып. 2(43). – Волгоград, 1984. – С. 19–30.
- 191 Сурмач, Г. П. Прогнозирование стока талых вод на черноземных и каштановых почв / Г. П. Сурмач // Вестник с.-х. науки. – 1969. – № 12. – С. 53–56.
- 192 Сурмач, Г. П. Водная эрозия почв и борьба с ней / Г. П. Сурмач. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.
- 193 Полуэктов, Е. В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней / Е. В. Полуэктов. – Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 1984. – 162 с.
- 194 Аполлов, Б. А. Курс гидрологических прогнозов / Б. А. Аполлов, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 422 с.
- 195 Демидов, В. В. Комплексное влияние лесных полос и агротехнических приемов на эрозию почвы и урожайность сельскохозяйственных культур на черноземах Курской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.04 / Демидов Валерий Витальевич. – Волгоград, 1983. – 25 с.
- 196 Демидов, В. В. Закономерности эрозии почв лесостепной зоны при снеготаянии как научная основа системы почвозащитных природоохранных мероприятий: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 11.00.11 / Демидов Валерий Витальевич. – М., 2000. – 47 с.
- 197 Сурмач, Г. П. Прогнозирование стока талых вод / Г. П. Сурмач, М. М. Ломакин, А. П. Шестакова // Земледелие. – 1989. – № 4. – С. 29–31.
- 198 Водогрецкий, В. Е. Склоновый сток и его изменение под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий / В. Е. Водогрецкий // Вопросы влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим. – Вып. 206. – Л., 1973. – С. 172–207.
- 199 Гаршинев, Е. А. О влиянии уклона на поверхностный сток / Е. А. Гаршинев // Водная эрозия почв и борьба с ней. – М., 1977. – С. 56–65.
- 200 Шеппель, П. А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги / П. А. Шеппель. – Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1990. – 191 с.
- 201 Великанов, М. А. Динамика русловых потоков / М. А. Великанов. – М.: Гостехиздат. – Т. 1–2. – 1954. – С. 289.
- 202 Атлас. Водные ресурсы Российской Федерации. – М.: НИА-Природа, 2005. – С. 95.
- 203 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1968. – 335 с.

204 Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с

205 Методические указания по определению водной эрозии. – М.: Колос, 1975. – 35 с.

206 Провести исследования, дать научное обоснование и разработать методику прогнозирования поверхностного стока талых вод, создающих угрозу затопления сельскохозяйственных угодий и чрезвычайных ситуаций при прохождении паводков на реках и водохранилищах (бассейнов рек Волга и Дон) (заключ.): 1.3 / ФГНУ «РосНИИПМ»; рук. Щедрин В. Н., Барабанов А. Т. – Новочеркасск, 2006. – 66 с. – Исполн.: Третьякова Г. Ю., Клишин В. Т., Лозовой В. Н. [и др.]. – № ГР 10200701094. – Инв. № 02200700352.

207 Полуэктов, Е. В. Сток талых вод с различной по степени уплотненности пашни [Электронный ресурс] / Е. В. Полуэктов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – № 3(19). – 11 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=351&id=362>.

208 Полуэктов, Е. В. Чизельная обработка почвы / Е. В. Полуэктов. – Новочеркасск: Изд-во НГМА, 2006. – 262 с.

209 Ломакин, М. М. Мульчирующая обработка на склонах / М. М. Ломакин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 178 с.

210 Седловский, А. И. Генетико-статистические подходы к селекции самоопыляющихся культур / А. И. Седловский, С. П. Мартынов, Л. К. Мамонов. – Алма-Ата: Наука, 1982. – 200 с.

211 Полуэктов, Е. В. Комплексные исследования состояния и почвозащитные мероприятия на агроландшафтах [Электронный ресурс] / Е. В. Полуэктов, О. А. Игнатюк, Г. Т. Балакай, Н. И. Балакай // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 4(12). – 14 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=205&id=211>.

212 Принципы ландшафтно-экологического подхода к мелиорации земель / А. В. Колганов [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 12.

213 Щедрин, В. Н. Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга Европейской территории России / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

214 Балакай, Н. И. Агроландшафты юга России и их классификация по типам / Н. И. Балакай, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Вып. 35. – Новочеркасск: Геликон, 2006. – С. 43–47.

215 Полуэктов, Е. В. Расчет оптимальной структуры сельскохозяйственных угодий на биоэнергетической основе [Электронный ресурс] / Е. В. Полуэктов, О. А. Игнатюк, Н. И. Балакай // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. – № 4(04). – 11 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=57&id=61>.

216 Балакай, Н. И. Определение рационального соотношения орошаемых и богарных сельхозугодий на разных агроландшафтах юга России / Н. И. Балакай, Г. Т. Балакай // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 6. – С. 39–41.

217 Караушев, А. В. Оценка и моделирование качества воды в водных объектах / А. В. Караушев, Б. Г. Скакальский // Проблемы современной гидрологии: сб. науч. ст. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – С. 59–75.

- 218 Родзиллер, И. Д. Прогноз качества воды водоемов, приемников сточных вод / И. Д. Родзиллер. – М.: Стройиздат, 1984. – 282 с.
- 219 Бесценная, М. А. Усовершенствование экспресс-метода расчета разбавления сточных вод в реках / М. А. Бесценная // Труды ГГИ. – Л., 1972. – 191 с.
- 220 Полуэктов, Е. В. Динамика эрозионных процессов по данным дистанционного и наземного мониторинга на черноземах обыкновенных Ростовской области [Электронный ресурс] / Е. В. Полуэктов, Г. Т. Балакай, Ю. А. Таран // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 4(08). – 9 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=131&id=132>.
- 221 Полуэктов, Е. В. Борьба с эрозией и дефляцией при их совместном проявлении / Е. В. Полуэктов // Земледелие. – 1989. – № 6. – С. 28–31.
- 222 Полуэктов, Е. В. Почвенно-земельные ресурсы Ростовской области: учеб. пособие / Е. В. Полуэктов, Е. М. Цвылев. – Новочеркасск, 1999. – 201 с.
- 223 Полуэктов, Е. В. Рациональное использование эродированных земель / Е. В. Полуэктов, А. С. Чешев. – Ростов н/Д., 1990. – 127 с.
- 224 Полуэктов, Е. В. Противоэрозионные мелиорации земель / Е. В. Полуэктов. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 250 с.
- 225 Ларионов, Г. А. Эрозия и дефляция почв / Г. А. Ларионов. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 200 с.
- 226 Литвин, Л. Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л. Ф. Литвин. – М.: Академкнига, 2002. – 255 с.
- 227 Маковеев, Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н. И. Маковеев. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 348 с.
- 228 Маковеев, Н. И. Русловые процессы / Н. И. Маковеев, Р. С. Чалов. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 264 с.
- 229 Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – М.: Колос, 2004. – 352 с.
- 230 Хрисанов, Н. И. Управление эвтрофированием водоемов / Н. И. Хрисанов, Г. К. Осипов. – СПб.: Русская книга, 2003. – 279 с.
- 231 Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 622 с.
- 232 Кирюшин, В. И. Экологизация земледелия и технологическая политика / В. И. Кирюшин. – М.: МСХА, 2000. – 473 с.
- 233 Зыков, И. Г. Защита склонов от эрозии / И. Г. Зыков, В. М. Ивонин, В. К. Духнов. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 74 с.
- 234 Павловский, Е. С. Защитные лесонасаждения – системообразующий элемент ландшафта агротерритории / Е. С. Павловский // Вестник РАСХН. – 2002. – № 3. – С. 17–18.
- 235 Черкасов, Г. Н. Рациональное использование овражно-балочных земель / Г. Н. Черкасов // Проблемы ландшафтного земледелия. – Курск, 1997. – С. 192–199.

REFERENCES

1 Dobrovolskiy G.V. 2005. *Izbrannye trudy po pochvovedeniyu. Obshchie voprosy teorii i razvitiya pochvovedeniya* [Selected Papers on Soil Study. Common Questions of Theory and Development of Soil Science]. Moscow, MGU Publ., vol. 1, 525 p. (In Russian).

2 Kowalchik A. 2010. *Opustynivanie i degradatsiya zemel v stranakh SNG* [Desertification and land degradation in the CIS countries]. *Lesnoye i okhotnichie khozyaistvo. Ekologiya* [Forestry and Hunting. Ecology]. vol. 2, 17 p. (In Russian).

3 Dobrovolskiy G.V., Shoba G.V., Dobrovolskiy S.A., Balabko P.N., 2002. *Degradatsiya i okhrana pochv* [Degradation and Soil Protection]. Moscow, MGU Publ., 654 p. (In Russian).

4 *O borbe s degradatsiyey selskokochozyaistvennykh zemel v gosudarstvakh – uchastnikakh SNG: resheniye Ekonomicheskogo soveta SNG ot 10 iyunya 2015* [On the land erosion control of farm lands in the states – participants of the CIS: the decision of the CIS Economic Council on June 10, 2015] [electronic resource]. Mode of access: <http://cis.minsk.by/news.php?id=5196>. (In Russian).

5 *O gosudarstvennom regulirovanii obespecheniya plodorodiya zemel selskokhozyaistvennogo naznacheniya: Federalnyi zakon ot 16 iyulya 1998* [On Governmental Regulation of farmland fertility: the Federal Law of July 16, 1998 № 101-FZ as of July 19, 2011] Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

6 *Zemelnyy kodeks Rossiiskoy Federatsii: Federalnyi zakon ot 25.10.01* [Land Code of the Russian Federation: Federal Law of 25.10.2001 № 136-FZ as of 31.12.2014] [electronic resource]. Mode of access: http://base.garant.ru/12124624/1/#block_1000#ixzz3URKRFO1Z. (In Russian).

7 Khublaryan M.G. 1998. *Sovremennoe sostoyanie prirodnykh vod sushy i svyazannyye s nim ekologicheskie problemy* [Current state of natural inland waters and related environmental problems]. *Globalnye ekologicheskie problemy na poroge XXI veka* [Global Environmental Problems on the Threshold of the Twenty-first Century]: scientific materials. conf., dedicated to 85th birthday of acad. A.L. Yanshin. Moscow, Nauka Publ., pp. 87-98. (In Russian).

8 *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ekspluatatsii vodnykh resursov in 2005 (kratkaya versiya)*, 2006 [National report on the status and utilization of water resources of the Russian Federation in 2005 (brief version)]. Moscow, NIA-Priroda Publ., 130 p. (In Russian).

9 *Ob utverzhdenii Vodnoy strategii RF on the period till 2020. Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 27.08.2009* [On approval of the Water Strategy of the Russian Federation for the period up to 2020: the RF Government order from 27.08.2009 № 1235-p: as of July 2011] [electronic resource]. Mode of access: <http://bestpravo.ru/federa-lnoje/bz-pravo/u0w.htm>. (In Russian).

10 Ratkovich D.Y. 2003. *Aktualnye problemy vodoobespecheniya* [Contemporary issues of water supply]. Moscow, Nauka Publ., 352 p. (In Russian).

11 *Gosudarstvennyi doklad “O sostoyanii i ispolzovanii vodnykh resursov RF in 2013”*, 2014 [State report “On the status and use of water resources of the Russian Federation in 2013”]. Moscow, NIA-Priroda Publ., 270 p. (In Russian).

12 *Vodopotrebleniye i vodootvedeniye* [Water consumption and water disposal] [electronic resource]. Mode of access: http://ecodelo.org/3084vodopotrebleniye_i_vodootvedeniye_kachestvo_prirodnoi_sredy_i_sostoyaniye_prirodnykh_resursov. (In Russian).

13 *Pokazateli vodopolzovaniya v Rossii po federalnym okrugam* [Indicators of water use in Federal Districts in Russia] [electronic resource]. Mode of access: <http://town.ru/information/hidden/2843.html>. (In Russian).

14 Danilov V.I. et al. 1999. *Bezopasnost Rossii. Ekologicheskaya bezopasnost, ustoychivoe razvitie i prirodoochrannyye problemy* [Russian Safety. Environmental safety, sustainable development and environmental issues]. Moscow, MGF "Knowledge" Publ., 704 p. (In Russian).

15 Rainin V.Ye., Zimin-Shaldybina V.Ye., Lazic P.Yu. 1995. *O probleme zagryazneniya vodnykh ekosistem poverkhnostnym stokom* [On the problem of aquatic ecosystems contamination by runoff]. Proceedings (transactions) VNIIGIM. Moscow, VNIIGIM Publ., v. 88, pp. 5-11. (In Russian).

16 Chernikov V.A., Chekeresa A.I. 2000. *Agroekologiya* [Agroecology]. ed. Moscow, Kolos Publ., 536 p. (In Russian).

17 Khublaryan M.G. 1977. *Sokhranit resursy presnykh vod* [Save freshwater resources]. Nauka v Rossii, no. 3. pp. 52-56. (In Russian).

18 Danilov-Danilyan V.I., Losev K.S. 2000. *Ekologicheskyy vyzov i ustoychivoe razvitie* [Environmental challenges and sustainable development]. Moscow, Progress-Tradition Publ, 416 p. (In Russian).

19 Kireycheva L.V. 1997. *Kontseptsiya sozdaniya ustoychivyykh meliorativnykh landshaftov* [The concept of creating sustainable reclamation landscapes]. Journal of Agricultural Sciences, no. 5, pp. 51-55. (In Russian).

20 Barabanov, A.T. 1993. *Agrolesomeliatsiya v pochvozashchitnom zemledelii* [Agroforestry in conservation agriculture]. Volgograd, 155 p. (In Russian).

21 Kashtanov A.N., Svintsov I.P. et al. 2001. *Metodicheskoe posobie i normativnye materialy dlya razrabotki adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya* [Guidelines and regulatory materials for the development of adaptive-landscape farming systems]. Voronezh, 259 p. (In Russian).

22 Khrustalev Yu.P., Vasilenko V.N., Svisyuk I.V. et al. 2002. *Klimat i agroklimaticheskie resursy Rostovskoy oblasti* [Climate and agro-climatic resources of Rostov region]. Rostov n/D., Batayskoye Publ., 184 p. (In Russian).

23 Smolyaninov N.G. 2000. *O primenenii mineralnykh organicheskikh udobreniy i pestitsidov: Selskoe khozyaistvo kak istochnik lhimicheskogo zagryazneniya biosfery* [On the application of mineral and organic fertilizers and pesticides (Materials): Agriculture as a source of chemical pollution of the biosphere]: abstract. Moscow, Ros. Univ of Friendship of Peoples Publ., 14 p. (In Russian).

24 Litvin, L.F., Kiryukhina Z.P. 2003. *Pochvenno-erozionnaya migratsiya biogenov i zagryazneniya poverkhnostnykh vod* [Soil-erosion migration of biogenes and surface waters contamination]. *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy* [Soil Erosion and Channel Processes]. no. 14, pp. 45-63. (In Russian).

25 Kuznetsov M.S., Glazunov G.P. 1996. *Eroziya i okhrana pochv* [Erosion and soil protection]. Moscow, Moscow State University Publ., 333 p. (In Russian).

26 Nikanopov A.M., 1989. *Spravochnik po gidrokhimii* [Handbook of hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 391 p. (In Russian).

27 Stupin V.I. 2003. *Problema biogenogo zagryazneniya vodnykh robektov diffuznym stokom s vodozaborov rek Voronezhskoy oblasti* [The problem of biogenic pollution of water bodies by diffuse runoff from river water intakes in Voronezh Region]. *Bullet. of Voronezh State University*. pp. 179-180. (In Russian).

28 Melnikova V.A., Demchenko A.S. 1987. *Migratsiya fosfora na selskokhozyastvennykh vodosborakh i ego vynos vodami poverkhnostnogo stoka* [Migration of

phosphorus in agricultural watersheds and surface runoff water removal]. *Izuchenie protsessov formirovaniya khimicheskogo sostava prirodnykh vod v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya* [Study of the processes of chemical composition formation of natural water in the conditions of anthropogenic influence]. Part 1, Leningrad. 109 p. (In Russian).

29 Surmach G.P. 1976. *Vodnaya eroziya i borba s nei* [Water erosion and its control]. Leningrad, 256 p. (In Russian).

30 Poluektov Ye.V. 2003. *Eroziya i deflyatsiya agrolandshaftov Severnogo Kavkaza* [Erosion and deflation of agricultural landscapes of the North Caucasus]. Novo-cherkassk: Tempo Publ., 297 p. (In Russian).

31 Zhelnakova L.I., Petrova N.V. 1983. *Nekotorye voprosy borby s vetrovoy i vodnoy eroziei na Stavropolie* [Some questions on wind and water erosion control in Stavropol territory]. *Nauchnye osnovy obrabotki pochv na Stavropolie* [Scientific Bases of Soil Cultivation in Stavropol Territory]. Stavropol, pp. 73-88. (In Russian).

32 Balakay G. T., Shevchenko D.A., Balakay G.T. 2005. *Vliyanie sposoba obrabotki pochvy na vodnyu eroziyu* [Effect of tillage method on water erosion]. *Puti povysheniya effektivnosti ispolzovaniya oroshaemykh zemel* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Land Use: Proceedings]. FGNU "RosNIIPM". Novo-cherkassk, pp. 187-189. (In Russian).

33 Balakay G.T., Shevchenko D.A. 2005. *Eroziionnye protsessy na sklonakh Stavropolskoy vozvyshehnosti* [Erosion processes on the slopes of the Stavropol upland]. *Problemy proizvodstva produktsii rastenievodstva na melioriruemykh zemlyakh* [Problems of Crop Production on Irrigated Lands: Proceedings]. StavGAU, Stavropol, Agrus Publ., pp. 144-146. (In Russian).

34 Balakay G.T., Shevchenko D.A. 2005. *Regulirovanie velichiny vodnoy erozii poverkhnostnym pokrovom* [Adjusting the value of water erosion by surface cover]. *Problemy proizvodstva produktsii rastenievodstva na melioriruemykh zemlyakh* [Problems of Crop Production on Irrigated Lands: Proceedings of StavGAU]. Stavropol, Agrus Publ., pp. 204-205. (In Russian).

35 Balakay G.T., Shevchenko D.A. 2005. *Velichina smyva i zavisimosty ot sposobov osnovnoy obrabotki chernozyemov* [Flushing depending on chernozem tillage methods]. *Problemy proizvodstva produktsii rastenievodstva na melioriruemykh zemlyakh* [Problems of Crop Production on Irrigated Lands: Proceedings.]. StavGAU. Stavropol, Agrus Publ., pp. 201-203. (In Russian).

36 Balakay G.T. Balakay N.I., Shevchenko D.A. 2005. *Vliyanie stoka talykh vod na vodnyu eroziyu pochvy* [Influence of melt water runoff on water erosion of soil]. *Puti povysheniya effektivnosti ispolzovaniya oroshaemykh zemel* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Land Use: Proceedings] FGNU "RosNIIPM", Novo-cherkassk, pp. 190-193. (In Russian).

37 Zhilko V.V. 1980. *Eroziya pochv i borba s ney v rayonakh s preobladaiem talykh vod* [Soil erosion and its control in areas with a predominance of meltwater]. *Eroziya pochv i borba s ney* [Soil Erosion and its Control]. ed. acad. VASKhNIL V.D. Pannikov. Moscow, Kolos Publ., 355 p. (In Russian).

38 Vanin D.Ye., Rozhkov A.G., Gryzlov Ye.V. 1980. *Rasprostranenie i intensivnost erozii* [Erosion rate and advancing]. *Eroziya i borba s ney* [Soil Erosion and Its Control]. Moscow, Kolos Publ., 355 p. (In Russian).

39 Cevorgiev G. et al. 1980. *Zashchita pochv ot vodnoy v vetrovoy erozii in Vegriya* [Soil protection from water and wind erosion in Bulgaria]. *Eroziya pochv i borba s ney* [Soil Erosion and Its Control]. Moscow, Kolos Publ., 355p. (In Russian).

40 Christiana I. 1980. *Zashchita pochv ot erozii v Vengrii* [Soil protection against erosion in Hungary]. *Eroziya pochv i borba s ney* [Soil Erosion and Its Control]. ed. Moscow, Kolos Publ., 355 p. (In Russian).

41 Yuzefatsyuk, Ch. 1980. *Agrotekhnicheskie i meliorativnye priemy zascshity pochvot erozii v Polshe* [Agronomic and reclamation techniques to protect soil from erosion in Poland]. *Eroziya pochv i borba s nei* [Soil Erosion and Its Control]. Moscow, Kolos Publ., 355p. (In Russian).

42 Poluektov Ye.V., Lugantsev E.P. 2005. *Pochvozashchitnye sistemy v landshaftnom zemledelii* [Soil Protection Systems in Landscape Agriculture]. Rostov n/D., SKNTS HS Publ., 208 p. (In Russian).

43 Alcamo J., Doell P., Henrichs T., Kaspar F., Lehner B., Roesch T., Siebert S. 2003. Global estimates of water withdrawals and availability under current and future «business of usual» conditions. *Hydrological Sciences J.* no. 48(3), pp. 339-348. (In English).

44 Entekhabi D., Asrar Ch. et. al. Betts. 1999. An Agenda for Land Surface Hydrology Research and Call for the Second International Hydrological Decade. *Bull. Amer. Meteorol. Society*, no. 10, pp. 2043-2058. (In English).

45 Kundzewicz Z. W. 2003. Water Resources Systems. *Hydrological Risk, Management and Development*. IASH Publ., no. 281, pp. 32–39. (In English).

46 Liebscher H.-L. 2004. Conflict over water – can hydrology contribute anything toward their solution. *IASH Publ.*, no. 286, pp. 238-245. (In English).

47 Oki T., Agata Y., Kanae Sh., Sauhashi T., Yang D., Musiake K. 2001. Global assessment of current water resources using total runoff integrating pathways. *Hydrological Sciences J.*, 46. no. 6, pp. 983-995. (In English).

48 Porporato A., Rodriguez-Iturbe I. 2002. Ecohydrology – a challenge multidisciplinary research perspective. *Hydrological Sciences J.*, no. 5, pp. 811-821. (In English).

49 Mills W.C, Snyder W.M., Thomas A. W. 1988. Estimating runoff condition probabilities from rainfall and runoff data. *Amer. soc. of agr. Engineers.*, St. Joseph (Mich.), 5 p. (In English).

50 Heatwole C.D., Bottcher A.B., Baldwin L.B., Campbell K.L. 1986. Basin scale water quality model for flatwoods watersheds. *Amer. soc. of agr. Engineers*, St. Joseph (Mich.), 19 p. (In English).

51 Rudra R.P., Dickinson W.T., Wall G.J. 1988. Estimation of landuse effects on soil hydraulic properties using CREAMS. *Amer. soc. of agr. Engineers*, St. Joseph (Mich.), 17 p. (In English).

52 Roka F.M., Lessley B.V., Magette W.L. 1988. Incorporating CREAMS with economic modeling to assess economic implications of water quality standards. *Amer. soc. of agr. Engineers*, St. Joseph (Mich.), 19 p. (In English).

53 Schwab P. J., Warner R. C. 1988. SEDCAD-sediment, erosion, discharge by computer aided design, *Amer. soc. of agr. Engineers*, St. Joseph (Mich.), 13 p. (In English).

54 Drungil C. E. C. 1987. Remote sensing and partial area runoff modeling. *Amer. soc. of agr. Engineers*, St. Joseph (Mich.), 10 p. (In English).

55 *Vodnyi Kodels Rossiiskoy Federatsii: Federalnyi zakon ot 11 July 2006* [Russian Federation Water Code: Federal Law of June 3 № 74-FZ as of July 11, 2014]. Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

56 *Ob osobo olhranyaemykh prirodnykh territoriyakh: Federalnyi zakon ot 14 Marta 1995* [On Specially Protected Nature conservation Areas: the Federal Law of

March 14, 1995] № 33-FZ as of 24.07.2015 [electronic resource]. Mode of access: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/. (In Russian).

57 *O sanitarno-epidemicheskoy blagopoluchii naseleniya: Federalnyi zakon ot 30 Marta 1999* [On sanitary and epidemiological well-being of the population: the Federal Law of March 30, 1999] № 52-FZ as of 07.24.2015 [electronic resource]. Mode of access: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/. (In Russian).

58 *Gigienicheskie trebovaniya k bezopasnosti agrokhimikatov: SP 1.2.1170-02, utverzhdeny glavnym gosudarstvennym vrachom PF* [Hygienic requirements for agrochemicals: JV 1.2.1170-02 approved by the Chief Public Health Official of the Russian Federation October 23, 2002] Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

59 *O bezopasnosti gidrotehnicheskikh sooruzhenii: Federalnyi zakon ot 21 iyulya 1997* [On the safety of hydraulic structures: the Federal Law of July 21, 1997] № 117-FZ as of 13.07.2015 [electronic resource]. Mode of access: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15265/. (In Russian).

60 *O melioratsii zemel: Federalnyi zakon ot 10 yanvarya 1996* [On Land reclamation: the Federal Law of January 10, 1996] № 4-FZ as of November 28, 2011] Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

61 *O ekologicheskoy ekspertize: Federalnyi zakon ot 23 noyabrya 1995* [On Environmental Impact Assessment APPROVAL: Federal Law of November 23, 1995] № 174-FZ as of July 13, 2015. Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

62 *Ob utverzhdenii Polozheniya o poryadke provedeniya gosudarstvennoy ekologicheskoy eksperdizy: postanovlenie Pravitelstva RF ot 11 iyunya 1996* [On Procedure at meetings of State Environmental Review: RF Government degree dated June 11, 1996] № 698. Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

63 *Ob utverzhdenii Polozheniya ob osushchestvlenii gosudarstvennogo kontrolya i nadzora za ispolsovaniem i okhranoy vodnykh obektov* [On approval of the Regulations on the implementation of state control and supervision over the use and protection of water bodies: the decision of the Russian Government dated 25 December 2006] № 801: As of March 4, 2009. Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

64 *O sozdanii i vedenii Edinogo gosudarstvennogo fonda dannykh o sostoyanii okruzhayushchei prirodnoy sredy, ee zagryaznenii* [On the establishment and of the Unified national database on the environment and its pollution: RF Government Resolution of 21 December 1999] № 1410: As of June 6, 2013. Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

65 *O utverzhdenii Polozheniya o vodookhrannykh zonakh vodnykh obektov i ikh pribrezhnykh zashchitnykh polosakh: postanovlenie Pravitelstva RF ot 23.11.1996*. [Approval of the Regulations on water bodies water protection zones and their coastal protection strips: RF Government Degree dated November 23, 1996 № 1404]. Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service”, 2015. (In Russian).

66 *O normativakh platy za vynrosy v atmosferyni vozdukh zagryaznyayshchikh veshchestv statsionarnymi i peredvizhnymi istochnikami, sbrosy zagryaznyayushchikh veshchestv v poverkhnostnye i podzemnye vodnye obekty, razmeshchenie otkhodov proizvodstva i potrebleniya: Postanovlenie Pravitelstva PF ot 12.06.2003* [On standard payments for the emissions of air pollutants from stationary and mobile sources, discharges of pollutants into surface and underground water bodies, waste production and con-

sumption: RF Government Degree dated 12 June 2003 № 344: as of December 24, 2014]. Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service”, 2015. (In Russian).

67 *O Kontseptsii perekhoda the RF k ustoychivomu razvitiyu: Ukaz Prezident RF ot 1.04.1996* [On the Concept of the RF Transition to Sustainable Development: Presidential Decree of April 1, 1996, № 440]. Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

68 *O gosudarstvennoy strategii the RF po okhrane okruzhayushchei sredy I ibespecheniyu ustoichivogo razvitiya: Ukaz Prezidenta RF ot 4.02.1994* [On the national strategies of the Russian Federation on the environmental protection and the sustainable development provision: Presidential Decree of February 4, 1994, № 236]. Garant Expert 2015 [electronic resource]. NPP “Garant-Service” in 2015. (In Russian).

69 *Konventsiya o transgranichnom vozdeistvii promyshlennykh avari*y [Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents (Helsinki, 17 March 1992)] [electronic resource]. Mode of access: http://business-spravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_41373.html (In Russian).

70 *Konventsiya po okhrane I ispolzovaniyu transgranichnykh vodotokakh i mezhdunarodnykh ozer* [Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes (Helsinki, 17 March 1992)] [electronic resource]. Mode of access: <http://worldlaws.narod.ru/konvenc/00076.htm>. (In Russian).

71 *Gigienicheskie trebovaniya k okhrane podzemnykh vod ot zagryazneniya sodержaniya territorii naseleennykh mest SP 2.15.1059-01 utverzhd. postanovleniem Glavnogo gosud.sanitarnogo vracha RF 25.06.2001* [Hygiene requirements for the protection of groundwater from pollution: JV 2.1.5.1059-01: appr. By Resolution of the Chief Public Health Official of the Russian Federation July 25, 2001: effective 1 October 2001] [electronic resource]. Mode of access: <http://base.garant.ru/12124072/>. (In Russian).

72 *Sanitarnye pravila sodержaniya territorii naseleennykh mest: SanPin 42-128-690-88, utverzhd. Minzdravom SSSR 5.08.1988* [Sanitary regulations of populated areas : Sanitary Rules and Regulations 42-128-4690-88: approved. USSR Ministry of Health August 5, 1988, № 4690-88]. [electronic resource]. Mode of access: <http://docs.cntd.ru/document/1200029183>. (In Russian).

73 *Gigienicheskie trebovaniya k razmesheniyu i obezvrezhivaniyu otkhodov proizvodstva i potrebleniya: SanPin 2.1.7.1322-03 utverzhd. postanovleniem Glavnogo gosud. sanitarnogo vracha RF 30.04.2003* [Hygienic requirements for placement and disposal of waste production and consumption approv. by resolution of the chief public health official RF of April 30, 2003, № 80: effective 06.15.03] [electronic resource]. Mode of access: <http://base.garant.ru/4179201/>. (In Russian).

74 *Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvy pochvy: SanPin 2.1.7.1287-03: utverzhd. postanovleniem Glavnogo gosud.sanitarnogo vracha RF 17.04.2003* [Sanitary-epidemiological requirements to the quality of soil: Sanitary Rules and Regulations 2.1.7.1287-03: approv.by chief public health official of the Russian Federation April 17, 2003: effective 15.06.03] [electronic resource]. Mode of access: <http://base.garant.ru/4179179/>. (In Russian).

75 *Zony sanitarnoy okhrany istochnikov vodosnabzheniya i vodoprovodov pitevogo naznacheniya; SanPin 2.1.4.1110-02: utverzhd. Postanovleniem Glavnogo gosud. sanitarnogo vracha RF 14.03.2002* [Zones of sanitary protection of water sources and the potable water pipes: Sanitary Rules and Regulations 2.1.4.1110-02: approved. Resolution of the chief public health official of the Russian Federation on March 14, 2002, № 10: effective 01.06.02, the [electronic resource]. Mode of access: <http://tehbez.ru/Docum/DocumShow.asp DocumID = 489>. (In Russian).

76 *Pitevaya voda. Gigienicheskie treboaniy k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pitevogo vodosnabzheniya. Kontrol Kachestva: SanPin 2.1.4.1074* [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality Control: SanPin 2.1.4.1074-01: approved by Chief Public Health Official Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation September 26, 2001, № 24: effective. 01.02] [electronic resource]. Mode of access: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34003/. (In Russian).

77 *Gigienicheskie trebovaniya k proizvodstvy pestitsidov n agrochemikatov: SanPin 1.2.1330 introd. By glavnym gosudarstvennym sanitarnym. vrachom RF* [Hygiene requirements for the pesticides and agrochemicals production: SanPiN 1.2.1330-03: approv. Chief Public Health Official of the Russian Federation May 28, 2003, № 103: effective 30.06.03] [electronic resource]. Mode of access: <http://gosthelp.ru/text/SanPiN12133003Gigieniches.html>. (In Russian).

78 *Gigienicheskie trebovaniya k khraneniyu, primemeniyuii transportirovke pestitsidov i agrokhemikatov: SanPin 1.2.1077 by glavnym gosudarstvennym sanitarnym. vrachom RF* [Hygienic requirements for storage, use and transportation of pesticides and agrochemicals: SanPiN 1.2.1077-01: approved. Chief Public Health Official of the Russian Federation October 31, 2001: effective 01.02.02] [electronic resource]. Mode of access: http://tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID572.html. (In Russian).

79 *Vodootvedenie naseleennykh mest, sanitarnaya okhrana vodnykh obektov. Gigienicheskie trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod: SanPin 2.1.5.980-00* [Municipal water discharge, sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements for surface water protection: SanPin 2.1.5.980-00: approved. Chief Public Health Official of the RF June 22, 2000: effective 01.01.01] [electronic resource]. Mode of access: http://tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_496.html. (In Russian).

80 *Vodootvedenie naseleennykh mest, sanitarnaya okhrana vodoemov. Orientirovochnye dopustimye urovni khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obektov khozyaistvenno-pitevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovaniya* [Municipal waste water discharge, sanitary protection of water bodies. Safe Reference Level of Impact of chemicals in water bodies of drinking and amenity water use: GN 2.1.5.690-98: approv. by Resolution of the Chief Public Health Official of the RF on March 4, 1998, № 9: effective 3.4.98] [electronic resource]. Mode of access: <http://gosthelp.ru/text/GN21569098>. (In Russian).

81 *Sanitarnye pravila proektirovaniya, stroitelstva ii ekspluatatsii vodokhranilishch* [Sanitary rules of design, construction and operation of reservoirs: approv. by Chief Public Health Official of the USSR July 1, 1985, № 3907-85] [electronic resource]. Mode of access: http://standartgost.ru/g/%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%9F%D0%B8%D0%9D_3907-85. (In Russian).

82 *Orientirovochno dopustimye kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v pochve* [Approxible permissible concentration of chemicals in soil: GN 2.1.7.2042-06: approv. by Chief Public Health Official of the RF January 19, 2006: effective from 01.04.06]. [electronic resource]. Mode of access: <http://gosthelp.ru/text/GN217204206Orientirovochn.html>. (In Russian).

83 *Predelno dopustimye kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v pochve* [Maximum allowable concentration (MPC) of chemicals in the soil: GN 2.1.7.2041-06: approv. by Chief Public Health Official of the RF January 19, 2006: effective 01.04.06] [electronic resource]. Mode of access: http://snipov.net/c_4655_snip_110042.html. (In Russian).

84 *Orientirovochno dopustimye urovni khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obektov khozyaistvenno-pitevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovaniya* [Safe Reference

Level of Impact of chemicals in water bodies of drinking, cultural and community water use: GN 2.1.5.1316-03: approv. by Chief Public Health Official of the Russian Federation of April 27, 2003: effective 01.05.04] [electronic resource]. Mode of access: <http://docs.cntd.ru/document/901862253>. (In Russian).

85 *Predelno dopustimye kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obektov khozyaistvenno-pitevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovaniya* [Maximum allowable concentration of chemicals in water bodies of drinking, cultural and community water use GN 2.1.5.1315-03: approved. by Chief Public Health Official of the Russian Federation of April 27, 2003: effective 15.6.03 [electronic resource]. Mode of access: http://snipov.net/c_4655_snip_106307.html. (In Russian).

86 GOST 17.1.3.13-86 (ST SEV 4468-84). *Obshchie trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod ot zagryazneniya* [General requirements for the protection of surface waters from pollution]. Available: http://snipov.net/c_4702_snip_98074.html. (In Russian).

87 GOST 2761-84. *Istochniki tsentralizovannogo khozyaistvenno-pitevogo vodosnabzheniya. Gigienicheskie, tekhnicheskie trenovaniya i pravila vybora* [Sources of centralized drinking water supply. Hygienic, technical requirements and selection rules]. Available: <http://docs.cntd.ru/document/1200003220>. (In Russian).

88 GOST 27065-86 (CT SEV 5184-85). *Kachestvo vod. Terminy i opredeleniya* [The quality of water. Terms and Definitions]. Available: <http://docs.cntd.ru/document/gost-27065-86>. (In Russian).

89 GOST 17.1.3.06-82 (CT SEV 3079-81). *Obshchie trebovaniya k okhrane podzemnykh vod* [General requirements to the underground water protection]. Available: <http://gost-help.ru/text/GOST17130682Oxranaprirody.html>. (In Russian).

90 GOST 17.4.2.01-81 Pochvy. *Nomenklatura pokazateley sanitarnogo sostoyaniya* [Soils. Nomenclature of sanitary conditions indicators]. Available: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17-4-2-01-81>.

91 GOST 17.1.1.01-77 (ST SEV 3544-82). *Okhrana prirody. Gidrosfera. Ispolzovanie i okhrana vod. Osnovnye terminy i opredeleniya* [Protection of Nature. Hydrosphere. Water use and protection. Basic terms and definitions]. Available: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17-1-1-01-77>. (In Russian).

92 GOST 17.0.0.01-76. *Sistema standartov v oblasti okhrany prirody i uluchsheniya ispolzovaniya prirodnykh istochnikov. Osnovnye polozheniya* [System of standards in the field of environmental protection and improvement of natural resources. Available: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17-0-0-01-76>. (In Russian).

93 Chernega L.G., Kudenko I.Ye. 1972 *Proekt metodiki otsenki ushherba ot zagryazneniya vodnykh istochnikov* [Project of methodology for assessment the damage caused by water sources pollution]. Kharkov: Department of Water Resources Research Institute VODGEO companies Publ., 57 p. (In Russian).

94 *Metodika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti vodookhrannykh meropriyatiy* [Methodology of determining the cost-effectiveness of water protective measures]. Moscow, Ministry of Water Resources of the USSR Publ., 1980, 52 p. (In Russian).

95 *Metodika podscheta ubytkov prichinennykh gosudarstvu narusheniem vodnogo zakonodatelstva* [Methodology of calculating the damages to the state caused by a violation of state water legislation]. Moscow, Ministry of Water Resources of the USSR, 1983, 34 p. (In Russian).

96 *Rekommendatsii dlya opredeleniya ushcherba ot zagryazneniya vodnykh istochnikov* [Guidelines for the determination of the damage caused by pollution of

water sources]. Moscow, Ministry of Water Resources of the USSR Publ., 1973, 37 p. (In Russian).

97 *Vremennaya tipovaya metodika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti vodookhrannykh meropriyatiy i otsenki ekonomicheskogo ushcherba prichinennogo narodnomu khozyaistvu zagryazneniem okhruzhayushchei sredy* [Temporary typical methodology of determining the cost-effectiveness of water protection measures and economic damage assessment caused to the national economy by environmental pollution]. Moscow, Economics, 1986, 56 p. (In Russian).

98 *Metodika "Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychainoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya* [Methodology "Criteria for assessing the environmental situation of territories to identify areas of ecological emergency and ecological disaster zones"]. Moscow, MPR, 1992, 52 p. (In Russian).

99 Karaushev A.V. edit. 1987. *Metodicheskie osnovy otsenki i reglamentirovaniya antropogennogo vliyaniya na kachestvo poverkhnostnykh vod* [Methodical bases of assessment and regulation of anthropogenic impact on the quality of surface water]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 285 p. (In Russian).

100 *O poryadke razranotki i utverzhdeniya normativov predelno dopustimykh vrednykh vozdeistviy na vodnye obekty: Postanovlenie Pravitelstva RF* [On the Procedure for development and approval of standards of maximum permissible harmful impacts on water bodies: RF Government Resolution of 19 December 1996 № 1504]. Available: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12724/. (In Russian).

101 *Metodicheskie ukazaniya po razrabotke normativov predelno dopustimykh sbrosov vrednykh veshchestv v poverkhnostnye vodnye obekty* [Guidelines for the development of standards of maximum permissible discharge of pollutants into surface water bodies]. Moscow, Ministry of Natural Resources, 1998, 38 p. (In Russian).

102 *Metodicheskie ukazaniya po razrabotke normativov predelno dopustimykh vrednykh vozdeistviy na vodnye obekty* [Guidelines for the development of standards of maximum permissible harmful impacts on water bodies]. Moscow, Ministry of Natural Resources, 1998, 45 p. (In Russian).

103 *Metodicheskie ukazaniya po razrabotke normativov predelno dopustimykh sbrosov vrednykh veshchestv v poverkhnostnye vodnye obekty* [Guidelines for the development of standards of maximum permissible discharge of pollutants into surface water bodies: a refined revision]. Moscow, Moscow, Ministry of Natural Resources, 1999. (In Russian).

104 *Metodicheskie ukazaniya po razrabotke normativov predelno dopustimykh vrednykh vozdeistviy na poverkhnostnye vodnye obekty* [Guidelines for the development of standards of maximum permissible harmful impacts on surface water bodies]. Moscow, Ministry of Natural Resources, 1999. (In Russian).

105 *Vremennaya metodika opredeleniya predotvrashcheniya ekologicheskogo ushcherba* [Temporary method of determining the prevented environmental damage]. Ecological Bulletin of the Sverdlovsk Region Government, 1999, no. 10, 20 p. (In Russian).

106 *Metodicheskie ukazaniya po raschetu platy za neorganizovanny sbros zagryaznyayushchikh veshchestv v vodnye obekty* [Guidelines for the calculation of fees for unorganized discharge of pollutants into water bodies]. Moscow, Ministry of Natural Resources, 1998. (In Russian).

107 *Instruktivno-metodicheskie ukazaniya po vzimaniyu platy za zagryaznenie okruzhayushchey prirodnoy sredy* [Instructions and guidelines for the collection of fees

for environmental pollution: approved. Russian Ministry of Justice March 24, 1993, № 190]. Available: http://consultant.ru/document/cons_doc_. (In Russian).

108 *O poryadke utverzhdeniya normativov dopustimogo vozdeistviya na vodnye obekty* [On the Procedure for the approval of standards of acceptable impact on water bodies: the decision of the Russian Government dated December 30, 2006, № 881]. Available: <http://base.garant.ru/2161880/>. (In Russian).

109 *Ob utverzhdenii metodiki razrabotki normativov dopustimyykh sbrosov veshchestv i mikroorganizmov v vodnye obekty dlya vodopolzovateley* [On approval of the Methodology for development of standards for acceptable substances and microorganisms discharges into water bodies for water users: the order of the RF Ministry of Natural Resources of December 17, 2007]. Available: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_75809/. (In Russian).

110 *O poryadke utverzhdeniya metodiki ischisleniya razmera vreda, prichinennogo vodnym obektam vsledstvie narusheniya vodnogo zakonodatelstva* [On the Procedure for approval the methodology for calculating the damages caused to water bodies due to violations of water legislation: RF Government Resolution dated November 4, 2006, № 639]. Available: <http://base.garant.ru/12150397/>. (In Russian).

111 *Ob utverzhdemii Metodiki ischisleniya razmera vreda, prichinennogo vodnym obektam vsledstvie narusheniya vodnogo zakonodatelstva* [On approval of the methodology for calculating the damages caused to water bodies due to violations of water legislation: Order of the RF Ministry of Natural Resources on March 30, 2007, № 71]. Moscow, 2007, 25 p. (In Russian).

112 *Metodika ischisleniya razmera vreda, prichinennogo vodnym obektam vsledstvie narusheniya vodnogo zakonodatelstva* [Methodology for calculating the damages caused to water bodies due to violations of water law: Order of MPR of April 13, 2009 № 87]. Available: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_88197/. (In Russian).

113 Obraztsov A.S. 1990. *Sistemnyi podkhod: primeneniye v zemledelii* [A systematic approach: the use in agriculture]. Moscow, Agropromizdat Publ., 304 p. (In Russian).

114 Kashtanov A.N. 1992. *Konzeptsiya landshaftnoy konturno-meliorativnoy sistemy zemledeliya* [Concept of landscape contour-reclamation system of agriculture]. *Selskoe Khozyaistvo* [Agriculture]. no. 4, pp. 2-4. (In Russian).

115 Kashtanov A.N. et al. 2001. *Metodicheskoe posobie i normativnye materialy dlya razrabotki adaptivno-landshaftnykh sisyem zemledeliya* [Technical paper and standards, specifications and guidelines for the development of adaptive-landscape systems of agriculture]. Kursk, 260 p. (In Russian).

116 Kochetov I.S., Barabanov A.T., Garshinev E.A. et al. 1999. *Agromeliorativnoe adaptivno-landshaftnoe obustroystvo vodosborov* [Agromeliorative adaptive-landscape watersheds facilities]. Volgograd, VNIALMI, 84 p. (In Russian).

117 Ivonin V.M., 2004. *Lesnye melioratsii landshaftov* [Landscape Forest Reclamation]. Rostov-on-Don, North Caucasus Scientific Centre of Higher School, 279 p. (In Russian).

118 *Trudy ekspeditsii, snaryazhennoy Lesnym Departamentom* [Proceedings of the expedition, equipped by the Forest Department under prof. Dokuchaev supervision]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 1954, p. 514-542. (In Russian).

119 Kozmenko A. S. 1949. *Borba s eroziyey pochv* [Erosion Control]. Moscow, 160 p. (In Russian).

120 Sousse N.N. 1949. *Eroziya pochv i borba s ney* [Soil Erosion and Its Control]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 350 p. (In Russian).

121 Sobolev S.S. 1948, 1961. *Razvitie erozionnykh protsessov na territorii evropeiskoy chasti SSSR i borba s nimi* [Erosion History in European part of the Soviet Union and its Control]. vol. 1, 2, Moscow, Academy of Sciences Publ., 305 p., 248 p. (In Russian).

122 Braude I.D. 1959. *Zakreplenie i osvoenie ovragov, balok i krutykh sklonov* [Ravines, gullies and slopes detention and stabilization]. Moscow, Sel'khozgiz Publ., 283 p. (In Russian).

123 Kozmenko A. S. 1954. *Borba s eroziyey pochv* [Erosion Control]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 229 p. (In Russian).

124 Zaslavsky M.N. 1966. *Eroziya pochv i zemledelie na sklonakh* [Soil Erosion and Hill Farming]. Kishinev, 494 p. (In Russian).

125 *O neotlozhnykh merakh po zashchite pochv ot vetrovoy i vodnoy erozii v RSFSR* [On urgent measures to protect the soil from wind and water erosion in the RSFSR: Resolution CM RSFSR of July 5, 1967, № 503 as of June 6, 1978]. NPP "Garant-Service" in 2015. (In Russian).

126 *Ob utverzhdenii osnov zemelnogo zakonodatelstva SSSR i soyuznykh respublik* [On approval the Fundamentals of Land Legislation of the USSR and union republics: the Law of the USSR of December 13, 1968]. Available: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=ESU;n=7122>. (In Russian).

127 Kashtanov A.N., Zaslavsky M.N. 1984. *Pochvozashchitnoye zemledelie* [Conservation Farming]. Moscow, Rosselkhozizdat Publ., 208 p. (In Russian).

128 Tkachenko V.G. et al. 1982. *Konturno-meliorativnoye zemledelie (metodicheskie rekomendatsii)* [Contour-reclamation farming: methodological recommendations]. Novosibirsk, 86 p. (In Russian).

129 Zdorovtsev I.P. 1993. *Sovremennyye nauchnyye podkhody k konstruirovaniyu agroekosistem v usloviyakh slozhnogo reliefa. Agroekologicheskiye printsipy* [Modern scientific approaches to the design of agro-ecosystems on complex terrain. Agroecological principles of agriculture]. Moscow, pp. 40-53. (In Russian).

130 Poluektov E.V., Balakay N.I., Balakay G.T. 2010. *Sistema meropriyatii po snizheniyu poverkhnostnogo stoka i vodnoy erozii na zemlyakh selskokhozyaistvennogo naznacheniya* [System of measures to reduce surface runoff and water erosion on agricultural lands]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona* [Bullet. of Don Agrarian Science]. no. 4, pp. 103-106. (In Russian).

131 Volodin V.M., 2000. *Ekologicheskiye osnovy otsenki i ispolzovaniya plodородiya pochv* [Ecological Bases of Soil Fertility Evaluation and Use]. Moscow, 336 p. (In Russian).

132 Kashtanov A.N., Shvebs G.I. 1994. *Osnovy landshaftno-ekologicheskogo zemledeliya* [Foundations of Landscape Ecological Agriculture]. Moscow, Kolos Publ., 127 p. (In Russian).

133 Lopyrev M.N. 2004. *Ekologizatsiya zemledeliya na landshaftnoy osnove* [Agricultural Greening on the basis of landscape]. Voronezh, 128 p. (In Russian).

134 Kotlyarova O.G. 1995. *Landshaftnaya sistema Zemledeliya Tsentralno-chernozemnoy zony* [Landscape Cropping System of Central Black Earth Zone]. Belgorod, Belgorod State Agricultural Academy Publ., 294 p. (In Russian).

135 Khublaryan M.G. 1977. *Sokhranit resursy presnykh vod* [Save Freshwater Resources]. *Nauka v Rossii* [Science in Russia]. no. 3, pp. 52-56. (In Russian).

136 Kukolschikova S.B. 2000. *Selskoe khozyaistvo kak istochnik khimicheskogo zagryazneniya: referat* [Agriculture as a source of chemical pollution of the biosphere: essay]. Moscow, People's Friendship University Publ., 15 p. (In Russian).

- 137 Mikheev N.N. 1998. *Priroda predyavlyayet schet* [Nature Delivers a Bill]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo* [Irrigation and Water Management]. no. 3. pp. 2-6. (In Russian).
- 138 Douglas U.L. 1975. *Trekhstolyetnyaya voyna. Khronika ekologicheskogo bedstviya* [Tercentenary war. Chronicle of ecological disaster]. Moscow, Progress Publ., 200 p. (In Russian).
- 139 Losev K.S. et al. 1993. *Problemy ekologii Rossii* [Problems of Russian Ecology]. Moscow, VINITI, 348 p. (In Russian).
- 140 Gadgil F. 1998. Drinking Water in Developing Countries. *Annu. Rev. Energy Environ.* no. 23, pp. 253-286. (In English).
- 141 Kundzewicz Z. W. 2003. Water and Climate – The IPCC TAR perspective. *Nordic Hydrology.* no. 34(5), pp. 387-398. (In English).
- 142 Giordano M., Wolf A. 2002. The geography of water conflict and cooperation: internal pressure and international manifestations. *The Geo-graphical J.* no. 4, pp. 293-312. (In English).
- 143 Ryumina E. V. 2004. *Ushcherb ot ekologicheskikh narusheniy* [Damage from environmental violations – more questions than answers]. *Ekonomika prirodopolzovaniya* [Environmental Economics]. no. 4, pp. 55-65. (In Russian).
- 144 Medvedeva O.Ye. 2007. *Problemy i praktika rascheta ushcherba okruzhayushchey srede pri obnaruzhenii narusheniy prirodookhrannogo zakonodatelstva: doklad na soveshchaniy Rosprirodnadzora* [Problems and practice of calculation of damage to the environment when it detects violations of environmental legislation: a report on the meeting of the Russian Rosprirodnadzor]. Moscow. (In Russian).
- 145 Chalov R.S. 2000. *Estestvennye i antropogennye izmeneniya rek Rossii za istoricheskoe vremya* [Natural and anthropogenic changes in rivers of Russia for historical time]. *Soros Educational Journal*, no. 1, pp. 71-78. (In Russian).
- 146 Bezdina S.Ya. 2005. *Ekologicheskie osnovy vodopolzovaniya* [Ecological bases of water use]. Moscow, Institute of Agricultural Chemistry, 222 p. (In Russian).
- 147 Khublaryan M.G. 1999. *Sovremennyye vodnyye problemy Rossii i puti ikh resheniya* [Modern Russian water problems and their solutions]. *Vodnyye problemy na rubezhe vekov* [Water Problems at the Turn of the Century]. Moscow, Nauka Publ., 347 p. (In Russian).
- 148 Bobylev S.N. 2003. *Vozdeistvie izmeneniya klimata na selskoe khozyaistvo i vodnyye resursy Rossii* [The impact of climate change on agriculture and water resources of Russia]. Moscow, Fund “Protection of Nature”, 36 p. (In Russian).
- 149 Danilov-Daniliyan V.I., Zalikhhanov M.Ch., Losev K.S. 2001. *Ekologicheskaya bezopasnost, osnovnye printsipy i rossiiskiy aspekt* [Environmental safety, the basic principles and the Russian aspect]. Moscow, MNEPU Publ., 330 p. (In Russian).
- 150 Nechayev A.P. et al. 1998. *O formirovaniy kachestva vody v poverkhnostnykh vodnykh obektakh, ispytyvayushchikh antropogennoe vozdeistvie* [On the formation of the water quality in surface water bodies, experiencing the anthropogenic impacts]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo* [Irrigation and Water Management]. no. 3, pp. 9-10. (In Russian).
- 151 Vinogradov Yu.B. 1988. *Matematicheskoe modelirovanie protsessov formirovaniya stoka* [Mathematical modeling of runoff formation]. *Opyt kriticheskogo analiza* [Critical Analysis Experience]. Leningrad, Gidrometeoizdat Gidrometeoizdat, 312 p. (In Russian).
- 152 *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu poverkhnostnogo stoka i smyva pochv pri izuchenii vodboy erozii* [Guidelines on accounting the surface runoff and soil

erosion by studying water erosion]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 61 p. (In Russian).

153 *Statisticheskie materialy i rezultaty issledovaniy razvitiya agropromyshlennogo proizvodstva Rossii* [Statistical materials and results of research of development of agricultural production in Russia]. Moscow, 2006, 234 p. (In Russian).

154 *Agropromyshlenniy kompleks Rossii v 2013* [Russian Agroindustrial Complex in 2013]. Ministry of Agriculture Russia. Moscow, 2014, 268 p. (In Russian).

155 Postnikov A.V., Shulepov M.Ye. 1992. *Potochno-promyshlennoe proizvodstvo kompostov* [Inline compost production]. *Zemledelie* [Farming]. no. 5, pp. 22-26. (In Russian).

156 Saffron S.A. 1989. *Kompleksnye mineralnye udobreniya* [Complex fertilizers]. *Khimizatsiya selskogo khozyaistva* [Chemicalization of Agriculture]. no. 11, pp. 26-30. (In Russian).

157 Mineev V.G. 1990. *Khimizatsiya zemledeliya i prirodnyaya sreda* [Chemicalisation of Agriculture and the Natural Environment]. Moscow, Agropromizdat Publ., p. 56. (In Russian).

158 Sychev V.G. 2003. *Osnovnye resursy urozhainosti selskokhozyastvennykh kultur i ikh vzaimosvyaz* [Basic resources of crop yields and their relationship]. Moscow, CINAO, 228 p. (In Russian).

159 Sychev V.G., Aristarkhov A.N. 2004. *Sostoyanie i strategiya razvitiya agrokhimicheskogo obsluzhivaniya selskokhozyaistvennogo proizvodstva Rossii na period do 2010* [Condition and development strategy of agrochemical service of agricultural production in Russia for the period up to 2010]. *Plodorodie* [Fertility]. no. 5, pp. 2-6. (In Russian).

160 Romanenko T.A., Tyutyunnikova A.I. 1998. *Udobreniya: znachenie, effektivnost primeneniya* [Fertilizers: importance, efficiency of use]. Moscow, CINAO, 376 p. (In Russian).

161 Volkovich S.I., 1982. *Kompleksnye azotno-fosfornye udobreniya* [Complex NP fertilizers]. Moscow, MGU Publ., 50 p. (In Russian).

162 Dvoryankin A.E., Reshetnikov A.A. 2006. *Kompleksnye udobreniya v khelatnoy forme na sakhrnoy svekle* [Complex fertilizers in chelate form on sugar beet]. *Agrokhimicheskie priemy povysheniya plodorodiya pochv ii produktivnost selskokhozyaistvennykh kultur v adaptivno-landshftnykh sistemakh zemledeliya* [Agrochemical methods of increasing soil fertility and agricultural productivity crops in the adaptive-landscape systems of agriculture: Proceedings of the 40th Intern. scientific. conf.]. Moscow, VNIIA, pp. 138-140. (In Russian).

163 Shaffron S.A., Yanishevskiy F.V. 1998. *Agrokhimicheskoe obosnovanie primeniya kaliinykh udobreniy v Nechernozemnoy zone Rossii* [Agrochemical rationale for the use of potash fertilizers in the Non-Chernozem zone of Russia]. *Agrokhiimiya* [Agrochemistry]. no. 4, pp. 5-17. (In Russian).

164 Saffron S.A. 1995. *Optimizatsiya azotnogo pitaniya zernovykh kultur pri raznoy obespechennosti dernovo-podzolistykh pochv fosforom i kaliem: avtoreferat diss. doktora s.-kh. nauk* [Optimization of nitrogen nutrition of crops on sod-podzolic soils at different phosphorus and potassium level: abstr. dis. dr. agr. sc.]. Moscow, 51 p. (In Russian).

165 *Kristalon* [electronic resource]. Available: <http://udec.ru/udobre-niya/Kristalon.php>. (In Russian).

166 Khoroshkin A.B. 2007. *Primenenie kompleksnykh mnogokomponentnykh udobreniy pod polevye kultury na chernozemakh obyknovennykh: avtoref. diss. kand.*

s.-kh. nauk [The use of complex multicomponent fertilizers under field cultures on ordinary chernozem: abstr. dis. cand. agr. sci.]. Persianovsky, 24 p. (In Russian).

167 *Agroekologicheskiy monitoring v zemledelii Kraskodarskogo kraya* [Agroecological monitoring in agriculture of Krasnodar territory]. *Sb. nauchnykh trudov, posvyashchenny 75 anniversary of Kuban gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of the scientific. tr., dedicated to the 75th anniversary of the founding of the Kuban State Agrarian University]. Krasnodar, 1997, 256 p. (In Russian).

168 *Statisticheskie materialy i rezultaty issledovaniy razvitiya agropromyshlennogo proizvodstva Rossii* [Statistical materials and results of research of development of agricultural production in Russia]. Moscow, Academy of Agricultural Sciences Publ., 2003. 28 p. (In Russian).

169 Khomyakov D.M., Levin B.V. 2004. *Voprosy uvelicheniya potrebleniya mineralnykh udobreniy v Rossiiskoy Federatsii* [Questions of increasing consumption of mineral fertilizers in Russia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Advances in Science and Technology in Agribusiness]. no. 11, pp. 43-44. (In Russian).

170 Malakhov A.S. 2000. *Agropromyshlenniy kompleks i agrarnaya politika v Rossii na rubezhe XXI veka (analiz, otsenki, predlozheniya)* [Agribusiness and agricultural policy in Russia at the turn of the XXI century (analysis, evaluation, suggestions)]. Saint Petersburg, GOU AMA NZ RF, 97 p. (In Russian).

171 Romanenko G.A. et al. 1999. *Agropromyshlenniy kompleks Rossii. Sostoyanie, mesto APK v mire* [Agribusiness of Russia. The condition and place in the world agribusiness]. Moscow, 540 p. (In Russian).

172 Romanenko, G.A., Komov N.V., Tyutyunnikov A.I. 1996. *Zemelnye resursy rossii, effektivnost ikh ispolzovaniya* [Land Resources of Russia, the efficiency of their use]. Moscow, 306 p. (In Russian).

173 Pryazhinskaya V.G., Yaroshevskiy D.M., Leit-Gurevich L.K. 2002. *Kompyuternoe modelirovanie ii upravlenie vodnymi resursami* [Computer Modeling in Water Resources Management]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 496 p. (In Russian).

174 GOST 17.1.3.07-82. *Okhrana Prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody vodoemov i vodotokov* [Protection of Nature. Hydrosphere. Quality control rules for water reservoirs and streams]. Available: http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_17.1.3.07-82. (In Russian).

175 *Sanitarnye pravila i normy okhrany poverkhnostnykh vod ot zagryazneniya: SanPin utv. Postanovleniem Goskomsanepidnadzora SSSR* [Sanitary Rules and Norms for the protection of surface waters from pollution: SanPiN 4630-88: appr. Resolution of the State Committee of the USSR from 04.07.88]. Available: http://standartgost.ru/g/%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%9F%D0%B8%D0%9D_4630-88. (In Russian).

176 *Metodika opredeleniya predotvrashcheniya ekologicheskogo ushcherba* [Methods of determining the avoided environmental damage: appr. State Committee of the RF for Environmental Protection 08.11.99 № 816]. Moscow, 1999, 62 p. (In Russian).

177 *Metodicheskie ukazaniya po otsenke i vozmeshcheniyu vreda, nanesennogo okruzhayushchey srede v rezultate ekologicheskikh pravonarusheniy* [Guidelines for the evaluation and compensation of damage caused to the environment as a result of environmental offenses: appr. Goskomekologiya 09.06.99]. Moscow, 1999, 58 p. (In Russian).

178 *Metodika rascheta vynosa biogennykh veshchestv i otsenka perspektivnogo sostoyaniya zagryaznennosti malykh rek* [Methods of calculating the removal of nutrients and evaluation of future state of small rivers pollution 0212.19-99: appr. Ministry of natural resources and protection of the environment. The Republic of Belarus of 19.11.99 number 331]. Available: <http://belarus.news-city.info/docs/1999by/crxfnmtcgkfnj54494.htm>. (In Russian).

179 Khrisanova N.I. 1988. *Metodicheskie ukazaniya po raschetu postupleniya biogennykh elementov v vodoemy ot rassredotochennykh nagruzok i ustanovleniyu vodoochrannykh meropriyatiy* [Guidelines for the calculation of nutrients input into water bodies from distributed loads and the establishment of water protective measures]. Moscow, Soyuzvodproekt Publ., 88 p. (In Russian).

180 Volosuhin V.A. 2004 *O prognoze vodnosti rek Yuzhnogo Federalnogo okruga v vesenne-letniy period 2004* [On forecast of rivers conductivity of the Southern Federal District in spring and summer, 2004]. *Problemy i perspektivy razvitiy melioratsii, vodnogo i lesnogo khozyaistva: sb. nauch. tr., posvyashchenniy 75-letiyu Rosselkhoz-nadzora* [Problems and Prospects of Development of Land Reclamation, Water and Forestry: Bull. sc. works, dedicated to the 75th anniversary of the RAAS]. Moscow, pp. 18-19. (In Russian).

181 Basov G.F., Grishchenko M.I. 1963. *Gidrologicheskaya rol lesnykh polos* [Hydrological Role of Forest Belts]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 201 p. (In Russian).

182 Kuznik I.A. 1963. *Agrolesomeliorativnye meropriyatiya, vesenniye stok i eroziya pochv* [Agroforestry measures, spring runoff and soil erosion]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 220 p. (In Russian).

183 Lvovich M.I. 1963. *Chelovek i vody* [Man and water]. Moscow, Geografizdat Publ., 556 p. (In Russian).

184 Sukharev I.P. 1966. *Gidrologicheskaya i protivierozionnaya rol lesnykh polos* [Hydrological and erosion-preventive role of forests belts]. Voronezh, 120 p. (In Russian).

185 Chebotarev A.I., Kharchenko S.I. 1962. *O vliyaniy zryablevoy vspashki na stok* [On the influence of fall plowing on runoff]. *Trudy GGI* [Proceedings of GGI]. vol. 82. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., pp. 34-39. (In Russian).

186 Lomakin M.I. 1988. *Mulchiruyushchaya obrabotka pochv na sklonakh* [Mulch tillage on slopes]. Moscow, Agropromizdat Publ., 183 p. (In Russian).

187 Orlov A.D. 1981. *Teoreticheskie osnovy sozdaniya erozionno ustoychivyykh landshaftov v Sibire* [Theoretical basics of erosion-stable landscapes in Siberia]. *Zashchita pochv ot erozii i deflyatsii* [Protection of soil from erosion and deflation]. Novosibirsk, 332 p. (In Russian).

188 Tleuov S.S. 1988. *Protivierozionnaya effektivnost osnovnoy obrabotki chernozemov Severnogo Kazakhstana, podverzhennykh vodnoy erozii: avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [Erosion preventive efficiency of the primary cultivation of chernozem of Northern Kazakhstan, subject to water erosion: abstr. dis. of cand. agr. sci.]. Almaty, 23 p. (In Russian).

189 Uvarov V.M., Kirichenko S.G. 1988. *Vliyanie konturnykh lesnykh polos na uvlazhnenie sklonov* [Effect of contour forest belts on the slopes moisturing]. *Lesomelioratsiya pri konturnom zemledelii* [Forest melioration in contour farming]. vol. 1(93), Volgograd, 191 p. (In Russian).

190 Antonov V.I. 1984. *Osobennosti formirovaniya poverhnostnogo stoka talykh vod s malykh vodosborov sukhoy stepi* [Peculiarities of surface melt water runoff from small catchments of dry steppe]. *Protivierozionnaya melioratsiya* [Erosion-Protective Reclamation]. vol. 2(43), Volgograd, pp. 19-30. (In Russian).

191 Surmach G.P. 1969. *Prognozirovaniye stoka talykh vod na chernozemnykh ii kashtanovykh pochvakh* [Prediction of melt water runoff in the black earth and chestnut soils]. *Vestnik selkh. nauki* [Bull. of agricultural science]. no. 12, pp. 53-56. (In Russian).

192 Surmach G.P. 1976. *Vodnaya eroziya pochv i borba s ney* [Water erosion of soils and its Control]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 254 p. (In Russian).

193 Poluektov Ye.V. 1984. *Eroziya pochv na Donu i borba s ney* [Soil erosion on the Don and its control]. Rostov n/D., Russian State University Publ., 162 p. (In Russian).

194 Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. 1974. *Kurs gidrologicheskikh prognozov* [The course of hydrological forecasts]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 422 p. (In Russian).

195 Demidov V.V. 1983. *Kompleksnoe vliyanie lesnykh polos i agrotekhnicheskikh priemov na eroziyu pochv i urozhainost selskokozyaistvennykh kultur na chernozemakh Kurskoy oblasti: avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [Complex influence of forest belts and agricultural practices on soil erosion and crop yields on chernozems of Kursk area: abstract of cand. agr. sci. diss.]. Volgograd, 25 p. (In Russian).

196 Demidov V.V. 2000. *Zakonomernosti erozii pochv lesostepnoy zony pri snegotayanii kak nauchnaya osnova sistemy pochvozashchitnykh prirodnookhrannykh meropriyatii: avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [Regularities of steppe zone soil erosion during snowmelt as a scientific basis for environmental soil protective measures: abstract of cand. agr. sci. diss.]. Moscow, 47 p. (In Russian).

197 Surmach G.P., Lomakin M.M., Shestakova A.P. 1989. *Prognozirovaniye stoka talykh vod* [Snowmelt Runoff Forecasting]. *Zemledelie* [Farming]. no. 4, pp. 29-31. (In Russian).

198 Vodogretsky V.Ye. 1973. *Sklonovyyi stok i ego izmeneniye pod vliyaniem agrotekhnicheskikh i lesomeliorativnykh meropriyatii* [Slope runoff and its change under the influence of agronomic and agroforestry measures]. *Voprosy vliyaniya khozyaistvennoy deyatelnosti na vodnye resursy i vodnyi rezhim* [Questions of influence of economic activities on water resources and water regime]. vol. 206, Leningrad, pp. 172-207. (In Russian).

199 Garshinev Ye.A. 1977. *O vliyanii uklona na poverkhnostniy stok* [The influence of slope on runoff]. *Vodnaya eroziya pochv i borba s ney* [Water erosion of soil and its control]. Moscow, pp. 56-65. (In Russian).

200 Sheppel P.A. 1990. *Spetsialniy vesenniy popusk pavodkovykh vod Volgi* [Special spring release of the Volga flood waters]. Volgograd, Nizhne-Volga Publ., 191 p. (In Russian).

201 Velikanov M.A. 1954. *Dinamika ruslovykh potokov* [Channel flow dynamics]. Moscow, Gostekhizdat Publ., vol. 1-2, pp. 289. (In Russian).

202 Atlas. 2005. *Vodnye resursy Rossiskoy Federatsii* [Water Resources of the Russian Federation]. Moscow, NIA-Priroda Publ., p. 95. (In Russian).

203 Dospekhov B.A. 1968. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. Moscow, Kolos Publ., 335 p. (In Russian).

204 Vadyunina A.F., Korchagina Z., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of study of the physical properties of soils]. Moscow, Agropromizdat Publ., 416 p. (In Russian).

205 *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu vodnoy erozii* [Methodology Guidelines for the determination of water erosion]. Moscow, Kolos Publ., 1975, 35 p. (In Russian).

206 Tretyakova G.Yu., Klishin V.T., Lozovoy V.N. et al. 2006. *Provesti issledovaniya, dat nauchnoe obosnovaniye i razrabotat metodiku prognozirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod, sozdayushchikh ugrozu zatopleniya selskokhozyaistvennykh ugodiy i chrezvychainykh situatsiy pri prokhozhenii pavodkov na rekakh i vodokhranilishchakh (Volga i Don): otchet NIR zaklyuch.: 1.3* [Carry out research to provide a scientific basis and develop the methodology for predicting melt water surface runoff, posing a threat of flooding of farmland and emergencies during the passage of floods on the rivers and reservoirs (basins of the Volga and the Don): research report (final): 1.3]. FGNU "RosNIIPM", Novocheerkassk, 66 p. (In Russian).

207 Poluektov Ye.V. 2015. *Stok talukh vod s razlichnoy po stepeni uplotnennosti pashni* [Melt water runoff from arable land different by compaction]. *Nauchniy zhurnal Rossiiskogo NII Problem Melioratsii* [Sc. Jour. of Russian Research Institute of Land Reclamation Problems]. no. 3(19), 11 p. Available: <http://rosniipm-sm.ru/archiven=351&id=362>. (In Russian).

208 Poluektov Ye.V. 2006. *Chizelnaya obrabotka pochvy* [Chisel Tillage]. Novo-cherkassk, NGMA Publ., 262 p. (In Russian).

209 Lomakin M.M. 1988. *Mulchiruyushchaya obrabotka na sklonakh* [Mulch Cultivation on Slopes]. Moscow, Agropromizdat Publ., 178 p. (In Russian).

210 Sedlovsky A.I., Martynov S.P., Mamonov L. K. 1982. *Genetiko-statisticheskie podkhody k selektsii samoopylayuyushchikhsya kultur* [Genetic and statistical approaches to the selection of self-pollinating crops]. Alma-Ata, Nauka Publ., 200 p. (In Russian).

211 Poluektov Ye.V., Ignatyuk O.A., Balakay G.T., Balakay N.I. 2013. *Kompleksnye issledovaniya sostoyaniya i pochvozashchitnye meropriyatiya na agrolandshaftakh* [Complex research of status and soil conservation measures on agricultural landscapes]. *Nauchniy zhurnal Rossiiskogo NII Problem Melioratsii* [Sc. Jour. of Russian Research Institute of Land Reclamation Problems]. no. 4(12), Available: <http://rosniipm-sm.ru/archiven=205&id=211>. (In Russian).

212 Kolganov A.V. et al. 2000. *Printsipy landshchaftno-ekologicheskogo podkhoda k melioratsii zemel* [The principles of landscape and ecological approach to land reclamation]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaistvo* [Irrigation and Water Management]. no. 5, 12 p. (In Russian).

213 Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., 2011. *Teoriya i praktika alternativnykh vidov orosheniya chernozemov yuga Evropeiskoy territorii Rossii* [Theory and practice of alternative irrigation types of chernozems in the European Russian South]. Novo-cherkassk, Lick Publ., 435 p. (In Russian).

214 Balakay N.I., Balakay G.T., Polouektov Ye.V. 2006. *Agrolandshafty yuga Rossii i ikh klassifikatsiya po tipam* [Agrolandscapes of the south of Russia and their classification by types]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya sbornik statey FGBNU "RosNIIPM"* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: proceed. of sc. papers. FGNU "RosNIIPM"]. no. 35. Novo-cherkassk, Helicon Publ., pp. 43-47. (In Russian).

215 Poluektov Ye.V., Ignatyuk O.A., Balakay N.I. 2011. *Raschet optimalnoy struktury selskokhozyaistvennoy struktury selskokhozyaistvennykh ugodiy na bioenergeticheskoy osnove* [Calculation of the optimal structure of agricultural land on the basis of bioenergy]. *Nauchniy zhurnal Rossiiskogo NII Problem Melioratsii* [Sc. Jour. of Russian Research Institute of Land Reclamation Problems]. no. 4(04), 11 p. Available: <http://rosniipm-sm.ru/archiven=57&id=61>. (In Russian).

216 Balakay N.I., Balakay G.T. 2010. *Opreделение ratsionalnogo sootnosheniya oroshaemykh i bogarnykh selkhozugodiy na raznykh agrolandshaftakh yuga Rossii* [Determination of reasonable ratio of irrigated and rainfed farmland in different agricultural landscapes of southern Russia]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaistvo* [Irrigation and Water Management]. no. 6, pp. 39-41. (In Russian).

217 Karaushev A.V., Skakalsky B.G. 1979. *Otsenka ii modelirovaniye kachestva vody v vodnykh obektakh* [Estimation and modeling of water quality in water bodies]. *Problemy sovremennoy gidrologii: sbornik nauchnykh statey* [Problems of modern hydrology: Coll. sc. art]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., pp. 59-75. (In Russian).

218 Rodziller I.D. 1984. *Prognoz kachestva vody vodoemov, priemnikov stochnykh vod* [Forecast of water quality of water bodies, waste water receivers]. Moscow, Stroyizdat Publ., 282 p. (In Russian).

219 Bestsennaya M.A. 1972. *Uovershenstvovanie ekspess metoda rascheta razbavleniya stochnykh vod v rekakh* [Improving rapid method for calculating the dilution of sewage in rivers]. *Trudy GGI* [Proceedings of GGI]. Leningrad, 191 p. (In Russian).

220 Poluektov Ye.V., Balakay G.T., Taran Yu.A. 2012. *Dinamika erozionnykh protsessov po dannym distantsionnogo i nasemnogo monitoringa na chernozemakh obyknovennykh Rostovskoy oblasti* [Dynamics of erosion by the remote and ground-based monitoring on ordinary chernozem the Rostov region [electronic resource]. *Nauchnyy zhurnal Rossiiskogo NII Problem Melioratsii* [Sc. Jour. of Russian Research Institute of Land Reclamation Problems]. no. 4(08). Available: http://rosniipm-sm.ru/archive_n=131&id=132. (In Russian).

221 Poluektov Ye.V. 1989. *Borba s eroziyey i deflyatsiyei pri ikh sovmestnom proyavlenii* [Erosion and deflation control of their joint manifestation]. *Zemledelie* [Farming]. no. 6, pp. 28-31. (In Russian).

222 Poluektov Ye.V. Tsvylev Ye.M., 1999. *Pochvenno-zemelnye resursy Rostovskoy oblasti: uch. pos.* [Soil and land resources of the Rostov area: textbook]. Novocherkassk, 201 p. (In Russian).

223 Poluektov Ye.V. Cheshev A. C., 1990. *Ratsionalnoe ispolzovanie erodirovannykh zemel* [Rational use of eroded lands]. Rostov n/D., 127p. (In Russian).

224 Poluektov Ye.V., 2011. *Protivoerozionnyye melioratsii zemel* [Erosion – preventive land reclamation]. Novocherkassk, Lick Publ., 250 p. (In Russian).

225 Larionov G.A. 1993. *Eroziya i deflyatsiya pochv* [Erosion and deflation of soils]. Moscow, MGU Publ., 200p. (In Russian).

226 Litvin L.F. 2002. *Geografiya erozii pochv selskokhozyaistvennykh zemel Rossii* [Geography of erosion of agricultural land in Russia]. Moscow, Akademkniga Publ., 255 p. (In Russian).

227 Makoveev N.I. 1955. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* [River channel and erosion in its basin]. Moscow, the USSR Academy of Sciences Publ., 348 p. (In Russian).

228 Makoveev N.I., Chalov R.S. 1986. *Ruslovye protsessy* [Channel processes]. Moscow, MGU Publ., 264 p. (In Russian).

229 Kuznetsov M.S., Glazunov G.P. 2004. *Eroziya i okhrana pochv* [Erosion and soil protection]. Moscow, Kolos publ., 352 p. (In Russian).

230 Khrisanov N.I., Osipov G.K. 2003. *Upravlenie evtrofirovaniem vodoemov* [Water bodies eutrophication management]. Saint Petersburg, Russkaya kniga publ., 279 p. (In Russian).

231 Kostyakov A.N. 1961. *Osnovy melioratsii* [Fundamentals of reclamation]. Moscow, Selhozizdat Publ, 622 p.

232 Kiryushin V.I. 2000. *Ekologizatsiya zvezdeliya i tekhnologicheskaya politika* [Agriculture greening and technology policy]. Moscow, ICCA Publ., 473 p. (In Russian).

233 Zыkov I.G., Ivonin V.M., Dukhnov V.K. 1985. *Zashchita sklonov ot erozii* [Slope protection against erosion]. Moscow, Rosselkhozizdat Publ., 74 p. (In Russian).

234 Pavlovsky Ye.S. 2002. *Zashchitnye lesonasazhdeniya – sistemoobrazuyushchii element* [Protective shelter forests – the backbone element of the landscape agroterritories]. *Vestnik RASKHN* [Journal of Agricultural Sciences]. no. 3, pp. 17-18. (In Russian).

235 Cherkasov G.N. 1997. *Ratsionalnoe ispolzovanie ovrazhno-balochnykh zemel* [Rational use of gullies and gully land]. *Problemy landshaftnogo zemledeliya* [Problems of landscape agriculture]. Voronezh, pp. 192-199. (In Russian).

Щедрин В. Н., Балакай Г. Т., Полуэктов Е. В., Балакай Н. И.

Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия: монография / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 450 с.

Цель исследований – установить показатели поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод и наносов с земель сельскохозяйственного назначения и разработать компенсационные мероприятия по предотвращению деградации почвы от эрозии и ущерба водным объектам. Многолетние исследования проводились: на семи стационарных участках в семи субъектах Российской Федерации; на шести типах почвы: черноземах обыкновенных и южных, каштановых, бурых полупустынных, серых лесных и подзолистых; с различными культурами и уклонами поверхности почвы; способами обработки почвы и др. Наблюдения показателей стока воды и наносов проводились на стоковых площадках размером 270 × 30 м. Образцы воды и почвы, отобранные при изучении стока поверхностных вод, анализировались в аттестованной эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ». Установлено, например, что за 46-летний период наблюдений (1970–2015 годы) на черноземах Ростовской области сток талых вод с рыхлой пашни (вспашка) наблюдается в 30 % лет исследований, а с уплотненной (посевы озимой пшеницы и многолетних трав) два раза в три года (вероятность 65 %), средние запасы воды в снеге составляют 43,4 мм на рыхлой пашне и 48,6 мм на уплотненной пашне. Средний сток составил соответственно 7,3 и 16,3 мм. Установлены зависимости поверхностного стока вод и наносов от уклона поверхности, типов почвы, влагозапасов в снеге и глубины промерзания почвы, интенсивности и продолжительности дождя, степени проективного покрытия растениями почвы, расстояния между защитными лесными насаждениями, способов обработки почвы и прочие. Исследования позволили разработать компенсационные мероприятия по снижению поверхностного стока и ущерба водным объектам и предложить методику разграничения ответственности сельхозтоваропроизводителей от ущерба водным объектам.

Ключевые слова: поверхностный сток, сток дождевых и талых вод, эрозия почвы, ущерб водным объектам, компенсационные мероприятия.

Shchedrin V. N., Balakay G. T., Poluektov Ye. V., Balakay N. I.

The conditions for surface runoff formation. The forecast of the inflicted damage. Compensatory meliorative measures: monograph / V. N. Shchedrin, G. T. Balakay, Ye. V. Poluektov, N. I. Balakay. – Novocherkassk: RosNIIPM, 2016. – 450 p.

The purpose of research is to establish indicators of snowmelt, rainfall, irrigation water surface runoff and sediment from agricultural lands and to develop compensatory measures for preventing the soil degradation from erosion and damage to water bodies. Long-term studies were conducted: at seven stationary sites in seven territories of the Russian Federation; six soil types: ordinary and southern black earth soils, chestnut and brown semiarid, gray forest and ash gray soils; with different crops and surface slopes; tillage methods, and others. Observations of water runoff and sediments were carried out on the 270 × 30 m runoff plots. Water and soil samples selected while studying surface runoff, were analyzed in a certified eco-analytical laboratory of FGBNU “RosNIIPM”. For example, it has been found, that for 46 years of observation (1970–2015) the snowmelt runoff from loose arable land on black earth soils of the Rostov region was observed in 30 % of research years and from compacted soil (winter wheat and perennial grasses) twice in three years (probability 65 %), the average water storage in snow is 43.4 mm on loose arable land and 48.6 mm on compacted arable land. The average flow was respectively 7.3 and 16.3 mm. The dependences of the surface runoff and sediment from the slope, soil types, moisture content in snow and the depth of soil freezing, the intensity and duration of rain, the degree of soil cover by plants, the distance between the protective forest stands, ways of tillage etc have been determined. The research allowed to develop compensatory measures to reduce surface runoff and the damage to water objects and to offer technique of delineation of responsibilities of agricultural producers from damage to water facilities.

Keywords: (surface) runoff, rainwater and snow runoff, soil erosion, damage to water bodies, compensatory measures.

Научное издание

**Щедрин Вячеслав Николаевич,
Балакай Георгий Трифонович,
Полуэктов Евгений Валерьянович,
Балакай Наталья Ивановна**

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО
СТОКА. ПРОГНОЗ ПРИЧИНЯЕМОГО УЩЕРБА.
КОМПЕНСАЦИОННЫЕ МЕЛИОРАТИВНЫЕ
МЕРОПРИЯТИЯ**

Подписано в печать 06.06.2016. Формат 60×84 1/8.
Усл. печ. л. 52,34. Тираж 500 экз. Заказ № 59.

ФГБНУ «РосНИИПМ»
346421, Ростовская область, г. Новочеркасск,
Баклановский проспект, 190

Отпечатано с готового оригинал-макета
ИП Белоусов А. Ю.
346421, Ростовская область, г. Новочеркасск,
Баклановский проспект, 190 «Е»