

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный аграрный университет
имени П. А. Столыпина»

Куликова А.Х., Карпов А.В., Яшин Е.А.

КРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР



Ульяновск – 2020

УДК 631.8:633.11

ББК 40.40

Куликова, А.Х. Кремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова, А.В. Карпов, Е.А. Яшин. – Ульяновск: УлГАУ, 2020. – 176 с.

Рецензенты:

Матыченков Владимир Викторович, доктор биологических наук, старший научный сотрудник Института фундаментальных проблем биологии РАН

Исайчев Виталий Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Монография содержит обобщение результатов исследований по изучению возможности повышения эффективности кремнистых пород (прежде всего, цеолита) в качестве удобрения сельскохозяйственных культур обогащением их аминокислотами и карбамидом. Установлено положительное влияние цеолита и удобрений на его основе на агрофизические, биологические и агрохимические свойства чернозема выщелоченного и типичного; урожайность, качество и экологическую безопасность продукции сельскохозяйственных культур. Эффективность цеолита в системе удобрения культур значительно повышалась при обогащении его аминокислотами и карбамидом.

Монография адресована почвоведом, агрохимикам, агрономам, руководителям и специалистам в системе АПК, научным работникам, студентам и аспирантам учебных заведений сельскохозяйственного профиля.

Рассмотрено и рекомендовано к печати
Научно-техническим советом
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ.
Протокол №3 от 29.09.2020 г.

ISBN 978-5-6043484-7-5

©Куликова А.Х., Карпов А.В., Яшин Е.А., 2020

© ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Кремниевое удобрение сельскохозяйственных культур.....	7
1.1. Кремний в системе «почва–растение».....	7
1.2. Кремниевые удобрения.....	12
1.3. Цеолиты в качестве кремниевого удобрения.....	19
Глава 2. Влияние цеолита и удобрений на его основе на свойства почвы.....	29
2.1. Объекты исследований и схемы опытов.....	29
2.2. Физические и водно–физические свойства.....	34
2.3. Активность почвенной биоты.....	43
2.4. Питательный режим.....	48
2.5. Содержание тяжелых металлов.....	60
Глава 3. Урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции (в том числе экологическая безопасность).....	67
3.1. Рапс.....	68
3.2. Кукуруза.....	73
3.3. Просо.....	83
Глава 4. Экономическая и энергетическая эффективность технологий возделывания культур с применением цеолита и удобрений на его основе.....	92
4.1. Экономическая эффективность.....	92
4.1.1 Анализ производства и экономической эффективности возделывания рапса.....	93
4.1.2 Анализ производства и экономической эффективности возделывания проса.....	102
4.1.3 Анализ производства и экономической эффективности возделывания кукурузы.....	113
4.2. Энергетическая оценка.....	122
4.2.1 Анализ энергетической эффективности технологий возделывания рапса.....	123
4.2.2 Анализ энергетической эффективности технологий возделывания кукурузы на зерно.....	125
4.2.3 Анализ энергетической эффективности технологий возделывания проса.....	127
Заключение.....	131
Библиографический список.....	138
Приложение.....	155

ВВЕДЕНИЕ

Проблема устойчивого сельскохозяйственного производства на современном этапе и в условиях экономических санкций является решающей в обеспечении продовольственной безопасности страны. При этом сохранение почвенного покрова и его плодородия не только как основы сельскохозяйственного производства, но и основы биосферного благополучия окружающей среды, в настоящее время приобретает глобальное значение. Она обостряется в связи с резким сокращением капиталовложений в аграрное производство и природоохранную деятельность в условиях постоянного увеличения антропогенного загрязнения окружающей среды, подтверждением чему является острая проблема качества получаемой продукции. Анализ научной литературы отечественных (Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я., 1978; Лобода Б.П., 2000; Аммосова Я.М., 2002; Шеуджен А.Х. 2003; Ермолаев С.А., Шильников И.А., Аканова Н.И., 2004; Самсонова Н.Е., 2005, 2019; Матыченков В.В., 2008; Пашкевич Е.Б., 2008; Андроникашвили Т.Г., Урушадзе Т.Ф., 2008; Капранов В.Н., 2009; Козлов Ю.В., 2010; Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В., 2011; Сластя И.В., 2012; Куликова А.Х., 2013; Бочарникова Е.А., Пахненко Е.П., Матыченков В.В., Матыченков И.В., 2014; Козлов А.В., Куликова А.Х., Яшин Е.А., 2015; Козлов А.В., 2016) и зарубежных (Jones L., Handreck K., 1967; Bocharnikova E.A., Matichenkov V.V., 1994; Neumann D., 2001, 2003; Ande V., 2002; Belanger R.R., 2005, Heather A.C., 2007; Gong H.J., 2008; Epstein E., 2009; Ma J., Fan Q., 2010; Wang X., 2010; Sun W., Zhang J., Fan Q., 2010; Datnoff E.L., Tubana B.S.,

2017; Artyszak A., 2018) исследователей позволяет сделать выводы о возможности решения настоящих проблем, в том числе за счет создания устойчивых почвенно–биотических систем через применение кремнийсодержащих удобрений и мелиорантов в агроэкосистемах.

В последние десятилетия интерес к кремниевым веществам, как удобрениям, резко возрос в Японии, США, Китае, Индии, Германии, Италии и Бразилии, о чем свидетельствуют проводимые раз в три года международные конференции, посвященные кремнию и возможности использования кремниевых (силикатных) удобрений в сфере сельскохозяйственного производства: в 1999 году – в США, 2002 г. – Японии, 2005 г. – Бразилии, 2008 г. – Южной Африке, 2011 г. – Китае, 2014 г. – Швеции, 2017 г. – Индии. Интерес этот обусловлен не только исключительной ролью кремния в системе «почва–растение» и биосфере в целом, но и нарастающим дефицитом доступных растениям его соединений в почвах. По расчетам В.В. Матыченкова (2007) в мире ежегодно из почв безвозвратно с урожаем сельскохозяйственных культур отчуждается 210–227 млн. тонн кремния. Учитывая, что кремний является не только питательным элементом, но и в составе минералов и пород (алюмосиликатов, полевых шпатов, глин, кварца и др.) является конструктивной основой почв, дефицит его доступных соединений может вызвать ряд негативных последствий в них, а также в продуктивности агроценозов.

Так, Е.А. Бочарникова и др. (2011) утверждают, что дефицит монокремниевой кислоты и уменьшение аморфного кремнезема в почве может сопровождаться разрушением ее органоминерального комплекса, деградацией органического вещества и ухудшением минералогического состава. Поэтому, для предотвращения

деградации почвы, поддержания в ней оптимального уровня монокремниевой кислоты, достаточного для питания растений, современные ученые и практики сельского хозяйства считают целесообразным постепенное введение в систему удобрения сельскохозяйственных культур кремнийсодержащих удобрений.

Вышеизложенное определило цель наших исследований – изучить эффективность кремнийсодержащих пород (цеолита) при возделывании сельскохозяйственных культур и возможность создания на их основе более эффективных, экологически безопасных удобрений обогащением аминокислотами и карбамидом.

ГЛАВА 1. КРЕМНИЕВОЕ УДОБРЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

1.1. Кремний в системе «почва–растение»

Кремний уникальный и удивительный химический элемент. Одно то, что он самый распространенный после кислорода химический элемент земной коры, свидетельствует о его исключительной роли в живой и неживой природе. В этом отношении замечательны и справедливы высказывания В.И. Вернадского «Кремний вырисовывается в мироздании как элемент, обладающий исключительным значением» (Вернадский В.И., 1967), а также Р. Айлера «Насколько вода является уникальной жидкостью, настолько и аморфный кремнезем уникален как твердое вещество. Они во многом схожи» (Айлер Р., 1982).

Элемент кремний (*Silicium Si*) неметалл массой 28,085, входящий в IV группу Периодической системы Менделеева вместе с углеродом и германием, широко распространен во всех средах земной коры. Кларк его в земной коре составляет 29,5 %, почвах – 33 %, фитоценозах – 15 % (Роде А.А., Смирнов В.Н., 1972; Рохов Е.Д., 1990). В литосфере он присутствует в виде различных кварцев и алюмосиликатов (плаггиоклазы, слюды, глинистые минералы). Кристаллические соединения кремния являются химически стойкими и практически нерастворимы в воде. Однако во всех природных объектах, в том числе и почве, присутствуют водорастворимые формы этого элемента. Б.Б. Польшов (1956) кремний в виде силикатов включил в группу подвижных элементов с коэффициентом подвижности 0,20, тогда как в виде оксидов он (например, кварц) –

практически неподвижный элемент. Подвижность силикатов обусловлена непрерывными процессами выветривания кремниевых материалов, а также минерализации растворимых остатков. При этом анионы различных кремниевых кислот, в частности SiO_4^{4-} , SiO_3^{2-} , многомерные анионы мета-, орто- и полисиликатов натрия, калия, кальция, магния и других элементов переходят в почвенный раствор и грунтовые воды (Оллиер К., 1990; Орлов Д.С., 1992). Часть из них активно используется фитоценозами, часть осаждается в виде полигидратированных аморфных осадков или кристаллизуется, часть постепенно мигрирует вертикально. В растительном организме кремний накапливается в виде фитолитов, после отмирания их биомассы обратно возвращается в почву, постепенно перекристаллизуется в виде опаловых конкреций и переходит затем во вторичный кварц (Безуглова О.С., Орлов Д.С., 2000; Шеуджен А.Х., 2009).

Таким образом, кремниевые соединения активно участвуют в различных геохимических и биохимических процессах и велика их роль в системе «почва–растение».

Почвенный раствор содержит кремний в основном в виде силикат-ионов мономеров мета- и ортокремниевых кислот, а также кремнийорганических соединений (Аммосова Я.М., Балабко П.Н., Матыченков В.В., Аветян Н.А., 1990; Матыченков В.В., 2008). Самой распространенной формой монокремниевой кислоты является ортокремниевая – H_4SiO_4 ; метакремниевая – H_2SiO_3 – встречается в природе редко. Монокремниевая кислота появляется в почвенном растворе в результате растворения кремнийсодержащих минералов, причем максимальная растворимость наблюдается (50–60 мл $\text{SiO}_2/\text{л}$) у аморфного тонкодисперсного кремнезема и

минимальная – у кварца (Матыченков В.В., 2014). Следовательно, содержание кремниевых кислот в сложных системах, какой является почва, зависит от количества наиболее растворимой минеральной формы кремния – аморфного кремнезема и привнесение его в почву увеличит содержание доступного кремния. Поступление (возвращение) кремния фитолитами растительных остатков в почву определяется продуктивностью агроэкосистем и концентрация монокремниевой кислоты в верхних горизонтах почвы зависит от типа растительных сообществ. Следует отметить, что мономеры кремниевой кислоты в почвах находятся в легко адсорбируемом состоянии и только очень небольшая часть (1–5 %) – в истинном почвенном растворе (Матыченков В.В., 2008).

Другой важнейшей растворимой формой кремния являются поликремниевые кислоты. Образование поликремниевых кислот происходит при конденсации монокремниевой кислоты (Iler R.K., 1979). Поликремниевые кислоты являются неотъемлемым компонентом почвенного раствора и играют важную роль в формировании почвенных свойств. Так, они могут склеивать почвенные частицы, прочно сорбируясь на них, и образуя силоксановые мостики (Cornelis et. al., 2011), таким образом участвуют в структурообразовании.

К растворимым формам кремния относят также некоторые кремнийорганические соединения. В частности, показано, что кремниевая кислота может образовывать растворимые комплексы с органическими лигандами (Dietzel, 2000; Пахненко Е.П., 2007). Предполагается, что кремниевые кислоты способствуют стабилизации гумуса, образуя с гумусовыми кислотами кремнийорганические комплексы (Гедройц, 1955; Dupius et al, 1982).

Растворимые формы Si – моно– и поликремниевые кислоты, кремнийорганические соединения обладают высокой химической и биологической активностью (Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я., 1978; Варшалл Г.М., Драчева Л.В., Замокина Н.С., 1980).

Кремний является неотъемлемой составной частью растительного организма. Одно то, что по общему содержанию элементов в растениях он занимает четвертое место после кислорода, углерода и водорода и потребление его в количествах, превышающих потребление основных макроэлементов (фосфора, азота и калия), свидетельствует о важнейшей его роли в физиологических процессах.

Изучению роли кремния в жизни растений посвящено большое количество работ. Установлено стимулирующее влияние Si на развитие корневой системы, площади листьев, на рост и развитие растений (Кудинова Л.И., 1974; Savant N.K., Korndorfer G.H., Datnoff L.E., Snyder G.H., 1999). Соединения кремния с белками, лигнином, полисахаридами обуславливают термоизоляцию клетки, что способствует лучшей перезимовке озимых культур и многолетних растений. Откладываясь в эпидермальных тканях в виде кремнийцеллюлозного слоя, кремний способствует механической прочности растений, тем самым снижая полегаемость зерновых культур (Алешин Н.Е., 1982; Колесников М.П., 2001; Капранов В.Н., 2008). Показано, что кремний способствует увеличению стабильности молекул ДНК и РНК, присутствует в рибосомах, митохондриях, хлоропластах, микросомах, влияет на фотосинтетическую активность растений (Воронков М.Г., Кузнецов И.Г., 1983; Richter W., Suntheim L., 1986; Алешин Н.Е., Авакян Э.Р., Лебедев Е.В., 1990; Agaris S., Agata W., Kubota F., Kaufman P.B., 1992). Участвуя в

процессах фосфорилирования углеводов, Si способствует усилению синтеза простых сахаров и способствует повышению крахмалистости зерновых, сахаристости свеклы, цитрусовых и ягодных культур (Куликова А.Х. и др., 2007; Дронина О.С., 2009; Никифорова С.А., 2009; Битюцкий Н.П., Якконен К.Л., Злотина М.М., 2010).

Тем не менее, многочисленными исследованиями доказано, что основная роль кремния в организме – защитная и он формирует иммунную систему растений. Ранее существовало мнение, что роль кремния состоит в формировании механического барьера на пути распространения инфекции. Считалось, что кремний способствует укреплению стенок эпидермиса, которые для грибов, насекомых и некоторых других вредителей становятся труднопреодолимым барьером. Было обнаружено, что вокруг поврежденных инфекцией участков листьев, например, пшеницы, образуются клетки, инкрустированные кремнеземом (Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я., 1978). Результаты современных исследований показывают, что механический барьер на пути патогена является только частью комплексной защитной реакции растения, в которую вовлечен кремний. Так, например, было доказано, что растворимый кремний активирует ответную реакцию в огурцах против патогенных грибов путем повышения активности хитиназ, пероксидаз, полифенолоксидаз, а также аккумуляции фенольных соединений (Fawe A., Abou-Zaid M., Menzies J.G., Belanger R., 1998). На основе экспериментов было установлено, что кремний стимулирует естественные защитные реакции организма (Wang X., On-Yang C., Fan Z., 2010).

В 2001 году Fawe A. и другие предложили модель возможного участия кремния в защите растений от

патогенов. Согласно ей, биологическая активность кремния связана с активаторами системно–приобретенной защиты и определяет время и продолжительность ответной реакции растений на проникновение инфекции (Fawe A., Menzies J.G., Cherif M., Belanger R., 2001). По мнению В.В. Матыченкова (2008) такая универсальность кремния заключается в способности активных кремниевых соединений способствовать быстрому и направленному синтезу специфических органических молекул внутри растительной клетки, которые помогают растениям преодолевать или адаптироваться к стрессу в любых неблагоприятных условиях.

Вышесказанное свидетельствует о важной роли кремния (кремниевых соединений) в системе «почва–растение» как в питании растений, так и защите их от различных стрессов. Следовательно, применение кремниевых соединений и кремнийсодержащих материалов в качестве удобрения, а также средства защиты растений является актуальным и перспективным направлением в сфере сельскохозяйственного производства.

1.2. Кремниевые удобрения

История кремниевых удобрений начинается практически одновременно с установлением наличия кремния в растениях в конце XVIII века. Начало активного изучения кремния и кремниевых удобрений, прежде всего, обязано немецким естествоиспытателям А. Гумбольдту и Юстасу Либиху. В этот же период проводили исследование француз Л. Воклен и англичанин Г. Дэви (Davy H., 1813; Либих Ю., 1864). Именно они установили присутствие кремния в различных растениях, что

позволило создать огромный банк данных о содержании элемента в них. Г. Дэви (1813) первый выдвинул гипотезу о том, что кремнезем концентрируется в эпидермальных тканях растений, что позволяет защитить их от насекомых вредителей. Ю. Либих – автор теории о минеральном питании растений, первый причислил кремний к основным питательным элементам (1840): азот, фосфор, калий и кремний. Он же провел ряд тепличных экспериментов, результаты которых доказали, что улучшение кремниевого питания растений способствует повышению урожая культур. Данные исследования явились теоретической базой для начала полевых испытаний кремниевых удобрений на знаменитой Ротамстедской станции в 1856 году в Англии, которые с перерывами продолжаются до настоящего времени (Аммосова Я.М., Дьяков В.М., Матыченков В.В., Чернышев Е.А., 1990). Именно на Ротамстедской опытной станции было установлено, что соединения кремния повышают подвижность фосфатов (Hall A.D., Morrison C.G.T., 1906).

Таким образом, уже в самом начале истории изучения кремния в системе «почва–растение» было установлено, что кремний является не только питательным элементом, но и способствует повышению естественной защиты растений от стрессов. Результаты этих исследований положили начало экспериментов с применением кремниевых удобрений, первым из которых явился силикат натрия, который начали применять в 1856 году на Ротамстедской станции (Rotmasted, 1991). Полученные их результаты предопределили дальнейшее изучение и использование кремниевых удобрений по всему миру.

Рис – одна из первых культур, на которой было изучено влияние кремниевых удобрений (силикатов

натрия) и доказано положительное его действие на урожайность и качество продукции. Более того, поскольку рис является одной из самых кремниелюбивых культур, рисовая солома, содержащая от 4 до 20 % кремния, стала применяться в качестве кремниевого удобрения в Японии, Китае, Индонезии, Филиппинах, Мадагаскаре (Yoshida S., 1978; Sawant et al., 1994; Кемечева М.Х., 2011). И, не случайно, в 1955 году в Японии было принято государственное постановление, обязующее вносить кремниевые удобрения под культуру риса (Ma J.F., Takahashi E., 2002), а сами силикатные удобрения внесены в реестр минеральных удобрений.

Во второй половине XX-го века и по настоящее время стремительно растет интерес к кремнию и кремниевым удобрениям и производство их, начиная с 2000 года, в мире ежегодно растет на 20 – 30 %. В настоящее время кремниевые удобрения применяют в Японии, Южной Корее, Китае, Индии, Колумбии, Мексике, США, Австралии, Бразилии (Матыченков В.В., 2014). Научная литература в этом отношении насчитывает несколько тысяч единиц, в том числе десятки обзоров о роли кремния в почве, растениях и биосфере в целом (Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я., 1978; Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М., 2002; Самсонова Н.Е., 2005; Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В., 2011; Козлов А.В., Куликова А.Х., Яшин Е.А., 2015; Самсонова Н.Е., 2019 и др.). В многочисленных исследованиях установлено, что кремниевые удобрения оказывают положительное влияние на формирование урожайности и качество продукции более сорока сельскохозяйственных культур (Самсонова Н.Е., 2019). Среди них наиболее кремниелюбивыми являются: рис, сахарный тростник,

просо, ячмень, овес, рожь, подсолнечник: из овощных: томаты, огурцы, свекла (сахарная, кормовая, столовая), кабачки, дыни.

В настоящее время предлагается большое количество кремнийсодержащих материалов, которые условно делятся на две группы. Первая – кремнистые породы (диатомиты, трепелы, опоки, цеолиты, бентониты и другие глины, вулканические породы) с высоким содержанием кремния, в том числе аморфного кремнезема; кремнийсодержащие отходы металлургии, зола тепловых станций, рисовая солома. Другая группа представлена синтетическими кремниевыми препаратами, в которых элемент может быть как в виде органических соединений – силатранов, которые обладают широким спектром физиологического действия на растения, являясь биостимуляторами (Воронков М.Г., Барышок В.П., 2010; Зейслер Н.А., 2016; Медведев Ю.Д., Медведев В.О., 2017), так и неорганической легкодоступной форме.

К синтетическим кремниевым препаратам относится широко используемый в России Мивал–Агро – кремнийорганический биостимулятор комплексного действия, состоящий из триэтаноламмониевой соли ортокрезоксисукусной кислоты и хлорметилсилатрана. Кроме того, в состав его входит крезацин, являющийся фитоадаптогеном и фитоантиоксидантом. Регулятором роста также является Энергия–М, содержащий 1–хлорметилсилатран (силацил), в котором кремний находится в биологически активной форме.

К минеральным удобрениям относится Силаплант – кремнийсодержащее жидкое удобрение, в состав которого входят кремний и калий (13–12 мг/л), а также макро– и микроэлементы (г/л): Fe – 0,44–0,54; Mg – 0,12–0,13; Cu –

0,09–0,27; Zn – 0,74–0,87; Mn – 0,32–0,37; Mo – 0,06–0,074; Co – 0,020–0,024; B – 0,094–0,112.

Препарат ЭкSi–универсал («Эккор») по химическому составу, представляет концентрированный раствор монокремниевой кислоты, который содержит также калий, натрий, гуматы.

Квантум–аквасил – содержит кремний, калий (SiO_2 – 20 %, K_2O – 10 %) и гуминовые вещества.

Наиболее изученными природными кремнийсодержащими породами с точки зрения возможности их применения в качестве силикатных удобрений являются диатомиты и цеолиты (Ермолаев С.А., 1987; Мустафаев Ю.Х., 1990; Лобода Б.П., Яковлева Н.Н., 2003; Капранов В.Н., 2006, 2009; Куликова А.Х. и др., 2007; Козлов А.В., 2013; Куликова А.Х., 2013).

Диатомитами называется рыхлая, очень мягкая, тонкопористая порода, сложенная мельчайшими раковинками диатомей (диатомовых водорослей), либо наряду с ними, содержащая значительное количество их мелких обломков. Диатомовые водоросли (*Diatomeae*) одни из самых распространенных на земном шаре организмов, которые появились около 120 млн. лет тому назад. Обитают они везде: в морях и океанах, в пресной воде и почвах, и даже на суше. В начале палеогена при наступлении моря они получили огромное развитие и сформировали мощные осадочные отложения (следует отметить, их образование происходит и в настоящее время). Диатомовые примечательны тем, что усваивают соединения кремния и строят из них оболочку–панцирь. Кремний, наряду с кислородом и водородом, является в диатомовых доминирующим элементом, превосходя по содержанию углерод. Количество цельных панцирей в диатомитах в зависимости от месторождений колеблется в

широких пределах – от 1,7 до 30 млн. в 1 см³. Общая пористость достигает 80 %, а размер пор – от 1 до сотен нм, т.е. диатомиты имеют развитую микро– и нанопористую структуру. Ионообменная способность диатомитов составляет 0,8–1,2 г–экв/кг, удельная поверхность – от 20 до 50 м²/г*10³ (Дистанов У.Г., Конюхова Т.П., 1990). Средний химический состав (в % на абсолютно– сухое вещество) содержит: SiO₂ общ – 83,1; SiO₂ аморф – 42,1; Al₂O₃ – 5,82; Fe₂O₃ – 2,47; CaO – 0,52; MgO – 0,48; MnO – 0,01; K₂O – 1,25; Na₂O – 0,42; P₂O₅ – 0,05; SO₃ – 0,23; TiO₂ – 0,54.

Благодаря таким уникальным свойствам диатомиты активно используются в десятках отраслей промышленности, в том числе представляют большой интерес для применения в сельском хозяйстве, прежде всего, в качестве кремниевого удобрения. Наши 20–летние исследования по изучению возможности применения диатомита Инзенского месторождения Ульяновской области в системе удобрения сельскохозяйственных культур показали высокую их эффективность в этом качестве (Куликова А.Х., 2013; Козлов А.В., 2013). Она обусловлена, прежде всего, комплексным положительным влиянием на свойства и режимы почв (агрофизическое состояние, биологическая активность, питательный и водный режимы) и в целом на систему «почва–растение»:

– внесение диатомита оказывало оструктурирующее и разуплотняющее действие на почву при возделывании любых культур, что создавало более благоприятное строение пахотного слоя. Последнее особенно важно для культур, требовательных к физическому состоянию почвы. Так, плотность пахотного слоя чернозема выщелоченного при внесении диатомита в дозе 5 т/га под кукурузу

уменьшилась с 1,26 г/см³ до 1,10 г/см³, что является оптимальной для данной культуры;

– улучшение агрофизических показателей сопровождалось усилением активности почвенных микроорганизмов и улучшением ее питательного режима. При этом содержание минеральных форм азота повышалось на 16 – 23 мг/кг, подвижного фосфора на 23 – 52 мг/кг, калия – на 29 мг/кг. Следует отметить, что содержание P₂O₅ в почве зависело от количества водорастворимого кремния и характеризовалось уравнением:

$$y=49,455+3,330x (R=0,61),$$

где y – содержание P₂O₅, мг/кг почвы;

x – содержание водорастворимого кремния, мг/кг почвы;

– внесение диатомита в почву приводило к повышению водорастворимого кремния в ней на 20 % ко времени их уборки, что способствовало оптимизации кремниевого питания растений и, как отмечалось – улучшению фосфорного питания;

– диатомит в значительной степени способствовал повышению водоудерживающей способности почв, экономному и рациональному расходованию запасов продуктивной влаги в течение вегетации сельскохозяйственных культур. Запасы продуктивной влаги в пахотном слое в начале вегетации культур при внесении диатомита были выше на 6 –13 мм, в метровом – на 15–20 мм, коэффициент водопотребления снижался в 1,2–1,4 раза;

– в связи с высоким содержанием аморфного кремния высококремнистые породы обладают несомненными защитными свойствами: поражаемость томатов грибными заболеваниями снижалась на 80 %, в

1,5–2 раза повышалась устойчивость зерновых культур к полеганию;

– благодаря высокоразвитой поверхности диатомит способствовал получению экологически более безопасной продукции: накопление токсичных элементов по отдельным культурам и элементам снижалась до 3–х и более раз;

– положительное действие диатомита на систему «почва–растение» сохранялось до трех лет и более.

Таким образом, исследования, проведенные рядом исследователей в конце XX–го века и нами в течение последних 20–ти лет показали, что применение диатомитов в качестве удобрения является одним из перспективных направлений в современной земледелии, особенно, с точки зрения получения экологически безопасной продукции. Более длительную историю изучения и применения в сельскохозяйственном производстве в качестве удобрения имеют цеолиты.

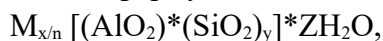
1.3. Цеолиты в качестве кремниевого удобрения

Цеолиты являются чрезвычайно широко распространенными по всему земному шару минералами приповерхностных частей литосферы с запасами сырья в миллионы и сотни миллионов тонн.

Свое название («вскипающий камень») они получили из-за способности при нагревании спучиваться (Кронстедт А., цит. по «Цеолитсодержащие породы...», 2001). К началу XXI века стали известны его уникальные и адсорбционные свойства, что предопределило интенсивное изучение, применение и внедрение природных цеолитов в самые разные сферы человеческой деятельности. Его называли «наиболее интеллектуальным минералом» и

«минералом XXI века». Дональд Блек (1976) писал: «Редко в нашем технологическом обществе открытие нового семейства неорганических материалов вызывало такой научный интерес и такое широкое развитие приложений, как в случае цеолитов».

К цеолитам относятся более сорока минеральных видов и разновидностей, основными из них являются: клиноптилолит и изоструктурный ему гейландит, морденит, шабазит, филлипсит и некоторые другие. В целом цеолиты являются водными алюмосиликатами щелочных и щелочно–земельных металлов с обобщенной эмпирической формулой:



где М – катион (катионы) с валентностью n;

Z – число молекул воды.

Отношение у:х имеет различные значения и находится в пределах от 0 до 5.

Основой структуры цеолитов является почти правильный тетраэдр SiO_4 . То или иное количество атомов кремния может быть заменено алюминием.

Кремнекислородные тетраэдры образуют кристаллическую решетку цеолитов, состоящую из четырех– пяти– и шестичленных колец. В результате такого строения во внутри кристаллическом пространстве образуются каналы и полости, которые соединены между собой и окружающей средой. В них присутствуют обменные катионы кальция и натрия, калия, магния, иногда бария и молекулы «цеолитной» воды. Пористая открытая микроструктура цеолитов и определяет их полезные уникальные свойства. Катионы и молекулы воды слабо связаны с каркасом и могут быть частично или полностью заменены (удалены) путем катионного обмена и дегидратации, причем обратимо, без разрушения каркаса

цеолита. Лишенный воды цеолит представляет собой микропористую «губку», объем пор которой составляет до 50 % объема каркаса цеолита. Дегидратированный цеолит способен адсорбировать вместо воды другие соединения, притом проявляет тенденцию к избирательному поглощению одних ионов или молекул перед другими, то есть проявляет свойства «молекулярного сита». Молекулярно-ситовые свойства цеолитов определяются эффективным диаметром «окон» (то есть входных пор и каналов), которые, в свою очередь, зависят от геометрических форм и размеров последних и наличия в них обменных катионов. Для оценки возможности попадания молекулы адсорбируемого вещества в адсорбционную полость (как при адсорбции молекул, так и ионном обмене) важны диаметр (ангстрем) входных «окон» цеолита и диаметр самой адсорбируемой молекулы или катионов. Цеолиты способны адсорбировать молекулы или ионы размерами не более собственных «окон», то есть данный цеолит не способен адсорбировать молекулы, размер которых превышает диаметр пор цеолита. Данное свойство цеолитов является основой (как будет показано ниже) для создания уникальных биомодифицированных удобрений сельскохозяйственных культур нового поколения.

Исследования по изучению возможности применения цеолитов в сельском хозяйстве стали проводиться во второй половине XX века, прежде всего, в Японии, Канаде и США (Цхакая Н.Л., Квашам Н.Ф., 1985; Сафронов Г.В., 1989). В это же время начинаются интенсивные исследования в нашей стране, притом на государственном уровне приняты ряд программ по использованию в народном хозяйстве цеолитов как природных, так и синтетических. Так, в 1986 году Госплан

РСФСР утвердил научно–техническую программу «Опытно–производственные испытания и определение масштабов использования природных цеолитов в народном хозяйстве РСФСР в 1987–1990 гг». В сентябре Госплан утвердил еще одну научно–техническую программу «Цеолиты России» (Лобода Б.П., 2000). Опираясь на предыдущие исследования было подготовлено методическое руководство по изучению цеолитов в растениеводстве и земледелии (Жежер А.Я., Лобода Б.П., Жежер Л.В., 1993).

К этому времени были разведаны крупные месторождения цеолитов на территории бывших Союзных республик СССР и Российской Федерации. Основные из них: Пегасское, Холинское, Чугуевское, Хонгуринское, Лютогское, Ягоднинское, Живыртуйское, Кузбасское и Хотынецкое (Лобода Б.П., 2000). В это же время было выявлено около двадцати проявлений цеолитсодержащих пород в Ульяновской области, Мордовии, Чувашии и Татарстане, обладающих очень большими запасами сырья.

Параллельно с разведкой месторождений цеолитов велись исследования не только по изучению возможности их применения в различных отраслях промышленности, но в сельском хозяйстве и области охраны окружающей среды. Результаты исследования во второй половине прошлого века обобщены в аналитическом обзоре Б.П. Лободы «Применение цеолитсодержащего минерального сырья в растениеводстве» (2000). В нем показана высокая эффективность цеолитов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в разных почвенно–климатических зонах:

– на дерново–подзолистых песчаных и супесчаных почвах Полесья (Украина) прибавка урожайности картофеля при внесении 15 т/га цеолита составила,

6–3,6 т/га (33–54 %) при прямом действии и 13–35 % – в последствии. Внесение 20 т/га цеолитов на песчаных почвах способствовало повышению урожайности озимой ржи на 73 %, викоовсяной смеси – на 133 %;

– высокая эффективность цеолитов отмечалась при возделывании озимого ячменя в исследованиях азербайджанских ученых при внесении его в дозе 10 т/га на эродированных серо–коричневых горных почвах: урожайность повысилась на 0,20–0,26 т/га (13–16 %) на естественном фоне, на фоне NPK – на 22–42 %;

– в Казахстане внесение цеолитов намного в меньшей дозе (1,5–3 т/га) обеспечило прибавку зерна кукурузы на лугово–каштановых почвах на 1,20 и 1,97 т/га, а при совместном внесении с NPK прибавка урожая от цеолитов повышалась до 4,4–5,4 т/га. Авторы наблюдали улучшение водно–физических свойств и питательного режима лугово–каштановых орашаемых почв (цит. по Лобода Б.П., 2000).

Многолетними исследованиями по изучению природных цеолитов в лаборатории агрономического почвоведения Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (под руководством профессора, академика РАСХН Панова Н.П.) показано, что при использовании данного материала происходит:

– детоксикация почв, загрязненных тяжелыми металлами, пестицидами и нефтепродуктами;

– предотвращение потери питательных элементов из удобрений при возрастающей их стоимости и экологической нагрузке.

Эффективен:

- как мелиорант на почвах солонцового ряда;

- как мелиорант на кислых почвах, нуждающихся в известковании;

- как материал для стабилизации и синтеза органического вещества почв;
- как структуросохраняющий агент на почвах орошаемых территорий;
- как мелиорант увеличивающий влагоемкость почв;
- для компостирования и сорбции нежелательных примесей из осадков сточных вод;
- как микробиологический препарат для обогащения почв полезной микрофлорой;
- как компонент грунтов в защищенном грунте (Крутилина В.С., Панов Н.П. и др., 2001; Панов Н.П., Крутилина В.С. и др., 2002).

Ярким примером использования цеолита в качестве улучшения физико–химических свойств почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур являются результаты исследований, проведенные в Пензенской ГСХА (Арефьев А.Н.).

Исследования по изучению перспективы применения цеолитсодержащих пород Татарстана, проведенные в 1993–1999 гг. показали, что внесение в почву цеолитсодержащих пород привело к изменению (улучшению) почвенной среды. В первый же год применения сдвиг $pH_{КС}$ в зависимости от внесенного цеолита составил 0,47–0,74 единиц (почва – серая лесная). Реакция почвенной среды через четыре года после внесения цеолитсодержащих пород в дозах 15–20 т/га была выше исходных значений на 0,23–0,33 единиц pH и на 0,8–1,0 мг–экв/100 г гидролитической кислотности. Особо следует отметить, при этом на 9–41 мг/кг увеличилось содержание подвижного фосфора, запасы минерального азота (аммонийного) в слое почвы 0–60 – на 25–94 кг/га. Благоприятные физико–химические свойства почвы

способствовали активизации в ней биологических процессов. И еще одно замечательное свойство цеолита – в силу высоких сорбционных свойств способность удерживать влагу. В среднем за вегетационный период запасы продуктивной влаги в метровом слое увеличились на 8–20 мм. Благоприятные физические, химические, биологические свойства, водный и питательный режимы почвы, создаваемые под влиянием цеолитсодержащих пород в серой лесной почве, сопровождались повышением урожайности зерновых культур в среднем за четыре года в зависимости от дозы породы на 0,17–0,50 т/га с улучшением качества продукции: содержание белка в зерне яровой пшеницы повышалось на 0,26–1,34 %; гороха на 0,4–1,4 %; клейковины в зерне яровой пшеницы на 0,4–2,0 %; сырого протеина в зерне озимой ржи на 0,4–1,3 % (Нуриев С.Ш., Ишкаев Т.Х. и др., 1995; «Цеолитсодержащие породы ...», 2000).

Применение цеолита, как высококремнистой породы, особенно актуально на почвах, загрязненных тяжелыми металлами. Так, в работе И.Н. Семеновой и др. (2011) показано, что внесение в почву цеолита ведет к снижению ингибирующего ферментативную активность почвы свинца (Семенова И.И., Ильбулова Г.Р. и др., 2011).

Эффективность кремниевых соединений, в том числе цеолита, в улучшении агрохимических свойств почвы и повышении продуктивности культур установлена и при выращивании их в условиях закрытого грунта. Установлено, что применение цеолитсодержащего трепела Хотынецкого месторождения в качестве компонента тепличного субстрата способствовало улучшению его физических свойств и тем самым – условий для развития корневой системы растений и, как следствие, повышению урожайности томатов на 17–26 % (Лобода Б.П.,

Ходырев В.М., 2006). Аналогичные данные получены при выращивании огурца: растения, произрастающие на торфо–цеолитном субстрате цвели и плодоносили на 3–4 дня раньше, отличались хорошо развитой корневой системой и меньшей восприимчивостью к температурным стрессам.

Несмотря на многочисленные исследования по изучению эффективности кремнийсодержащего минерального сырья, большинство исследований из них приходит к выводу, что биогенность и агрономическую ценность их можно и необходимо значительно повысить путем предварительного смешивания с органическими и минеральными удобрениями. Состав данных пород по элементам питания не всегда соответствует потребностям возделываемых культур и эффективность их достигается за счет устранения дефицита кремния и благоприятного воздействия пород на физико–химические свойства почвы. Последнее, прежде всего, касается азота, которого кремнистые породы не содержат. Проблему можно решить модификацией кремнистых пород внедрением в них азота в той или иной форме, или соединений, которые активизировали бы процессы перехода элемента из органической формы в минеральную. В этом отношении, в силу своего кристалло–структурного строения, требованиям в качестве носителя для создания новых высокоэффективных удобрений в наибольшей степени отвечают цеолиты.

Наличие открытой системы пор позволяет внедрить в них любые элементы или соединения, имеющие размер менее входных «окон» цеолита. Таким образом появляется возможность создавать удобрения, в оптимальной степени отвечающим требованиям отдельных или групп культур

(зерновых, пропашных, овощных и т.д.), обеспечивая «адресное» питание растений.

Подводя итоги краткого обзора литературных сведений о роли кремния и кремниевых удобрений в в системе «почва-растение» следует отметить:

- кремний является не только одним из основных элементов питания растений, но и конструктивной основой почвенного тела. В связи с постоянным отчуждением урожаев культур во всех почвах нарастает дефицит доступного кремния, что обуславливает необходимость использования кремниевых (силикатных) удобрений;

- в качестве экологически безопасного кремниевого удобрения возможно использовать природные кремнистые породы с высоким содержанием кремния, в том числе аморфного. Эффективность их можно значительно усилить совместным внесением их с органическими и минеральными удобрениями. В связи с этим возможно создание на их основе высокоэффективных, экологически безопасных, экономически выгодных удобрений нового поколения, которые позволят поднять уровень современного земледелия на новый уровень. Для этих целей наиболее целесообразно использовать цеолиты.

Однако до настоящего времени кремниевые удобрения не вошли в широкую практику сельскохозяйственного производства. Как справедливо отмечает Н.Е. Самсонова (2019), причиной тому являются: отсутствие надежной информации об обеспеченности почв доступным кремнием; недостаточное количество исследований, подтверждающих экономическую эффективность применения кремниевых удобрений; практически отсутствие пропаганды среди сельхозтоваропроизводителей о необходимости применения кремниевых удобрений, особенно в

стрессовых условиях выращивания культур и недостаточного увлажнения. Отсутствует также информация о научнообоснованных технологиях применения кремниевых удобрений (дозы, способы, сроки, место в севообороте, учитывая их пролонгированность и т.д.). Об этом же свидетельствуют зарубежные ученые (Datnoff E.L., Tubana S.B., 2017). Практически отсутствуют комплексные кремнийсодержащие удобрения на основе природного экологически безопасного природного сырья, запасы которых в стране огромны и эффективность их доказана. Вышесказанное обуславливает необходимость продолжения исследований по изучению роли кремния и эффективности природных кремнийсодержащих пород, в том числе возможности создания на их основе комплексных органоминеральных удобрений, наиболее отвечающих требованиям культур к питательному режиму почвы и условиям произрастания. В данной работе приведены результаты исследований по изучению влияния цеолита и удобрений на его основе внедрением аминокислот и карбамида на физические и водно-физические, биологические и химические свойства черноземов (типичного и выщелоченного), урожайность и качество продукции (в том числе экологическую безопасность) при применении как в чистом виде, так и на фоне минеральных удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТА И УДОБРЕНИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ НА СВОЙСТВА ПОЧВЫ

2.1. Объекты исследований и схемы опытов

Как указывалось выше, авторы работы имеют 20-летний опыт исследований по изучению возможности использования высококремнистых пород в системе удобрения сельскохозяйственных культур (Куликова А.Х., 2013).

Исследования по изучению эффективности цеолита Юшанского месторождения в системе удобрения культур проводятся нами, начиная с 2016 года. В течение 2016 – 2018 гг. на опытном поле Ульяновского аграрного университета имени П.А. Столыпина возделывалась кукуруза с использованием цеолита в качестве удобрения. Схема полевого опыта состояла из вариантов:

1. Контроль
2. Внесение в почву под зяблевую обработку цеолита 500 кг/га

3. Внесение в почву цеолита 2000 кг/га

4. Внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK)

5. Внесение цеолита 500 кг/га + NPK

6. Внесение цеолита 2000 кг/га + NPK

7. Внесение цеолита 500 кг/га + N_{60}

8. Внесение цеолита 2000 кг/га + N_{60}

Цеолит природный Юшанского месторождения Ульяновской области имеет: минералогический состав:

- клиноптилолит 39 %;
- монтмориллонит 30,4 %;
- опал–кристобалит 28,0 %;
- кальцит 10,6 %;
- кварц 7,9 %;

химический состав:

- $\text{SiO}_{2\text{общ.}}$ 58,11–69,39 %;
- $\text{SiO}_{2\text{аморф.}}$ 24,31–51,28 %;
- Al_2O_3 5,80–6,44 %;
- CaO 12,6–14,95 %;
- K_2O 1,16–1,90 %;
- Fe_2O_3 1,21–2,10 %;
- MgO 1,77–2,00 %;
- Na_2O 0,03–0,27 %;
- FeO_2 0,24–0,34 %;
- MnO 0,00–0,01 %;
- P_2O_5 0,08–0,49 %.

Ионообменные свойства: суммарная ионообменная (катинообменная) способность 93,0 мг.экв/100 г . Основная роль в обмене принадлежит кальцию – 86–88 %, доля натрия составляет 3–4 %, магния 3 %. Водоудерживающая способность достигает 96,13 %.

В качестве минерального удобрения применяли азофоску с содержанием азота, фосфора и калия по 16 % и мочевины с содержанием азота 46 %. Почва опытного поля чернозем выщелоченный среднесуглинистый. Кукуруза – гибрид Воронежский Оржиза 237 МВ.

Результаты опытов подтвердили необходимость, как будет показано ниже, применения цеолита совместно с азотным удобрением. Следовательно, при создании более эффективных удобрений на основе кремнистых пород необходимо внедрить в цеолит азотсодержащие соединения. В качестве последних наиболее перспективны аминокислоты с низким молекулярным весом (менее 10–и ангстрем), обладающие высокой биологической активностью за счет карбоксильных и аммонийных групп (COO^- , NH_3^+). Они легко проникают в микроскопические

поры цеолита и активно участвуют в электронно–ионных процессах внутри цеолитов.

Для обогащения цеолита использован аминокислотный состав, содержащий (%):

- Аспарагиновая кислота $3,31 \pm 0,50$
- Глутаминовая кислота $2,88 \pm 0,43$
- Серин $0,70 \pm 0,11$
- Гистидин $0,52 \pm 0,08$
- Глицин $0,95 \pm 0,14$
- Треонин $0,60 \pm 0,09$
- Аргинин $0,89 \pm 0,13$
- Аланин $1,30 \pm 0,19$
- Тирозин $1,15 \pm 0,17$
- Цистин $0,32 \pm 0,05$
- Валин $1,82 \pm 0,27$
- Метионин $0,42 \pm 0,06$
- Фенилаланин $1,76 \pm 0,26$
- Изолейцин $3,18 \pm 0,48$
- Лейцин $4,46 \pm 0,67$
- Лизин $7,41 \pm 1,11$
- Пролин $3,10 \pm 0,46$

Большую работу по разработке технологии управляемой модификации цеолитов с целью создания высокоэффективного, экологически безопасного удобрения провели Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина под руководством профессора Куликовой А.Х. и научно–производственный комплекс «ИнБиоТех» во главе генеральным директором Ухановым А.И. и заместителем директора по науке и производству Панкратовой Е.В. В результате этих изысканий была разработана технология создания уникального продукта на основе цеолита обогащением цеолита аминокислотами низкого

молекулярного веса. Новое органоминеральное удобрение получило название «ВитаБентАгро». Это базовая технологическая линия, которая позволяет внедрять и другие необходимые соединения, о чем говорилось выше. Таким же образом было получено аналогичное удобрение с внедрением в цеолит карбамида, которое получило название «Азосил».

Первые образцы удобрений были получены в апреле 2019 года и в том же году проведены первые испытания их при возделывании кукурузы и проса. Схемы полевых опытов при этом следующие:

Кукуруза:

1. Контроль (без удобрений)
2. Цеолит в чистом виде, 250 кг/га
3. Цеолит в чистом виде, 500 кг/га
4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га
5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га
6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га
7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га
8. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK)

Просо:

1. Контроль (без удобрений)
2. Цеолит, 500 кг/га
3. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га
4. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га

В 2020 году испытания новых удобрений на основе цеолита проводили при возделывании рапса и кукурузы по схеме:

1. Контроль
2. Цеолит, 250 кг/га
3. Цеолит, 500 кг/га
4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га
5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га

6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га
7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га
8. NPK (под кукурузу $N_{60}P_{60}K_{60}$, рапс – $N_{40}P_{40}K_{40}$)
9. Цеолит, 250 кг/га+NPK
10. Цеолит, 500 кг/га+NPK
11. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га +NPK
12. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га + NPK
13. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га+NPK
14. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га+NPK

Опыты по возделыванию рапса проведены в КФХ Мельников Ульяновской области, кукурузы – ООО «Агрофирма Абушаев» Ульяновского района. Почва опытных полей – чернозем выщелоченный среднесуглинистый.

Опыты по возделыванию проса осуществлялись на базе опытного поля Ульяновского ГАУ по схеме:

1. Контроль
2. Цеолит, 250 кг/га
3. Цеолит, 500 кг/га
4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га
5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га
6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га
7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га
8. $N_{40}P_{40}K_{40}$ (NPK)
9. Цеолит, обогащенный аминокислотами и карбамидом, 250 кг/га

Почва опытного поля чернозем типичный среднесуглинистый.

2.2. Физические и воднофизические свойства почвы

Физические свойства

Регулирование физических свойств почв, к которым относятся гранулометрический состав, структурное состояние, плотность и пористость (общая, капиллярная и некапиллярная), имеет исключительно важное значение. Именно физическое состояние почв определяет водный и тепловой режимы почв, направленность микробиологических, биохимических, физико–химических процессов, происходящих в них и определяющих эффективное плодородие почвы (Кузнецова И.В., Бондарев А.Г., Данилова В.И., 2000; Тимонов В.Ю., Чернышева Н.М. и др., 2009).

В таблице 1 представлены физические показатели чернозема выщелоченного при возделывании кукурузы с использованием в качестве удобрения цеолита, а так же цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом.

Данные таблицы свидетельствуют, что физическое состояние почвы опытного поля Ульяновского ГАУ (чернозем выщелоченный) мало соответствует требованиям возделываемой культуры: плотность пахотного слоя на контроле составляла $1,25 \text{ г/см}^3$, содержание агрономически ценных агрегатов размерами 0–0,25 мм 56,3 %, коэффициент структурности ниже оптимальных значений (2 и более, Буров Д.И., 1970).

Следует отметить, что кукуруза является культурой, требовательной к физическому состоянию почвы. Это связано с корневой ее системой, которая в первые недели жизни формирует первый ярус первичных корней.

Таблица 1 – Показатели физического состояния чернозема выщелоченного под посевами кукурузы при внесении в почву цеолита и экспериментальных удобрений

Вариант	Содержание агрегатов, % (сухое просеивание)			*Кс	Содержание водопорочных агрегатов, %		Плотность почвы, г/см ³
	> 10 мм	10–0,25 мм	<0,25 мм		3–0,25 мм	<0,25 мм	
Контроль (без удобрений)	38,5	56,3	5,2	1,29	69,8	30,2	1,25
Цеолит, 250 кг/га	33,7	61,9	4,4	1,62	71,5	28,5	1,20
Цеолит, 500 кг/га	25,2	70,9	4,5	2,36	73,5	26,5	1,14
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	24,8	71,2	4,0	2,00	73,2	26,8	1,18
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	21,4	74,8	3,8	2,52	75,7	24,2	1,12
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	27,5	68,2	4,3	1,86	70,9	23,1	1,20
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	25,1	70,8	4,1	2,15	74,8	25,2	1,14
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	35,2	58,8	6,1	1,42	69,0	31,0	1,26
НСР ₀₅							

*Кс – коэффициент структурности

По мере развития образуется второй ярус, который распространяется как в сторону, так и глубину до 30–35 см, затем проникает в почву до 60 см и более.

Следовательно, основная часть чувствительных (питающих) корней находится в слое 20–40 см и, соответственно, необходимо создавать оптимальное физическое состояние почвы до глубины не менее 30 см.

По результатам наших исследований (Куликова А.Х., 1997) оптимальными для пропашных культур, в том числе кукурузы, являются:

- глубина пахотного слоя – 28–30 см;
- плотность почвы – 1,07–1,16 г/см³;
- общая пористость – 56–59 %;
- капиллярная пористость – 36–37 %;
- пористость аэрации – 20–22 %;
- содержание водопрочных агрегатов – более 58 %;
- коэффициент структурности – не менее 2,3.

При внесении в почву цеолита физическое состояние почвы значительно улучшилось, особенно при применении более высокой его дозы (500 кг/га) и обогащением аминокислотами, при использовании которых данные показатели приобрели оптимальные для кукурузы значения: плотность пахотного слоя составила 1,14 и 1,12 г/см³, коэффициент структурности 2,36 и 2,52, содержание водопрочных агрегатов 73,5 и 75,7 %. При внесении в почву цеолита в дозе 500 кг/га значительно увеличилась общая пористость, в том числе капиллярная и некапиллярная на 9; 4,2 и 4,8 % соответственно (абсолютные значения, на контроле 48,0; 32,6 и 15,4 %). Таким образом, улучшилось состояние строения пахотного слоя почвы и стало соответствовать требованиям данной культуры. Ряд авторов считает, что поликремниевые кислоты (так же, как гуминовые кислоты) способны при

присутствии катионов кальция склеивать почвенные частицы в агрегаты (Аммосова Я.Ш. и др., 1990; Norton L.D., 1993). Следует отметить, что при этом повысилось содержание водопрочных агрегатов в почве от 69,8 % на контроле до 73,2–75,7 % на вариантах с внесением цеолита, обогащенного аминокислотами, соответственно дозам 250 и 500 кг/га. Эффективность цеолита, обогащенного карбамидом, в этом отношении была ниже. Минеральные удобрения достоверного влияния на структурно-агрегатный состав и плотность почвы пахотного слоя чернозема выщелоченного не оказали.

Таким образом, цеолит Юшанского месторождения при применении как в чистом виде, так и, особенно, обогащении его аминокислотами, оказал достоверное положительное влияние на физические показатели пахотного слоя чернозема выщелоченного, которые приобрели оптимальные для возделывания культуры значения. При этом количество агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) увеличилось на 5,6–18,5 % (абсолютные значения), водопрочных на 2,0–5,9 % (абсолютные значения), коэффициент структурности повысился с 1,25 на контроле до 1,62–2,52 единиц. Плотность почвы приобрела оптимальное для кукурузы значение.

Водно-физические свойства

Проблема регулирования водного режима почвы, то есть накопления, сохранения и рационального использования почвенной влаги является одной из главных в земледелии, особенно в засушливых регионах, в том числе лесостепи Поволжья, где она находится в первом минимуме и является фактором, часто

резко ограничивающим продукционный процесс растений. В этих условиях очень важно наряду с агротехническими приемами, направленными на сбережение и экономное расходование почвенной влаги, использование природных сорбентов, которые способны поглощать, удерживать в почвах и медленно расходовать воду, необходимые растениям питательные компоненты. В этой связи открываются большие перспективы не только использования их в этом качестве, но и создания на их основе принципиально новых видов удобрительных смесей, удобрений, обладающих наиболее рациональным режимом взаимодействия с растениями (Дистанов У.Г., 1989). В этом отношении большое значение имеют высококремнистые породы, в том числе и цеолиты. Например, модифицированный по технологии ООО «ИнБиоТех» цеолит (дегидратированный), лишенный воды, представляет собой микропористую кристаллическую «губку», объем которой составляет до 50 % каркаса цеолита. При этом положительное действие высококремнистых пород может быть обусловлено не только кристалло–структурными свойствами самих пород (характер пористости, адсорбционная способность и т.д.), но и свойствами аморфного кремнезема (Айлер Р.К., 1982; Matichenkov V.V., Vocharnikova E.A., 2001, 2004; Матыченков В.В., 2008). Например, Матыченков В.В. (2008) приводит данные, показывающие, что один атом кремния может удерживать до 119 молекул воды. Свежекремниевый гель кремниевой кислоты может содержать до 330 молей H_2O на один моль SiO_2 (Айлер Р.К., 1982).

В таблице 2 представлены запасы продуктивной влаги в почве под посевами кукурузы по вариантам опыта 2019 г.

Таблица 2 – Запасы продуктивной влаги в почве под посевами кукурузы (почва – чернозем выщелоченный), мм

Вариант	Посев	Уборка		
		слой почвы, см		
	0–30	0–100	0–30	0–100
Контроль (без удобрений)	37	149	30	111
Цеолит, 250 кг/га	41	159	34	118
Цеолит, 500 кг/га	49	162	38	123
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	43	157	38	121
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	45	165	38	126
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	40	154	35	119
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	39	153	36	120
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	36	150	29	104
НСР ₀₅	3	7	4	6

Данные таблицы показывают, что зимне–весенние запасы влаги в условиях лесостепи Поволжья как в пахотном, так и в метровом слое вполне достаточны для получения нормальных всходов (табл. 3).

При внесении в почву цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом, наблюдалось повышение водоудерживающей способности чернозема выщелоченного: уже в начале вегетации культуры запасы доступной влаги в пахотном слое достоверно увеличились на 2–12 мм, метровом – на

4–16 мм. Преимущество данных вариантов сохранялось в течение всей вегетации, несмотря на усиленное потребление культурой влаги на формирование урожая.

Таблица 3 – Оценка влагообеспеченности почвы для растений (Бондарев А.Г., 1996)

Запасы продуктивной влаги, мм		Обеспеченность
в слое 0–20 см	в слое 0–100 см	
<20	<50	недостаточная
20–30	50–150	достаточная
30–40	150–200	оптимальная
>40	>200	избыточная

Возвращаясь к механизму удерживания влаги высококремнистыми породами, следует отметить, что положительное действие их на водный режим обусловлено не только физико–химическими свойствами самих пород (характер пористости, адсорбционная способность и т.д.), но и свойствами (как отмечалось выше) аморфного кремнезема.

Рядом авторов показано, что внесение в почву активных форм кремния сопровождается повышением водоудерживающей способности почвы, засухоустойчивости растений и эффективности использования ими почвенной влаги (Aston M.T., Jones M.M., 1976; Matichenkov V.V., Bocharnikova E.A., 2004). В. В. Матыченков утверждает, что наряду с увеличением корневой системы растений при внесении в почву жидких или твердых веществ, содержащих доступный для растений кремний, снижение уровня транспирации и повышение водоудерживающей способности почвы приводит к тому, что 20–30 %

поглощенного кремния может быть израсходовано на создание и поддержку внутреннего резерва воды в растении.

Как уже неоднократно отмечалось, природные сорбенты отличаются высокими адсорбционными свойствами. Особенно это выражено у кремнезема. Поверхность его при гидратации покрывается монослоем гидроксильных групп OH^- . Атомы Si имеют тетраэдрическую координацию с кислородом и при реакции с H_2O образуют группу SiOH (Айлер Р.К., 1959; Рочев В.Н., Швейкина Р.В., Барсукова Г.А., 1980). Имея большую удельную поверхность, высококремнистые породы способны удерживать в себе значительное количество влаги, сохраняя ее в пахотном слое и постепенно расходуя в течение вегетации, так как она остается доступной. Выше цитированные авторы считают, что это имеет большое значение для удерживания, сохранения и пролонгированного действия элементов питания, особенно при внесении удобрений. Последнее связано с тем, что адсорбция OH^- на кремнеземе первична, а других катионов – вторична, которые затем легко переходят в почвенный раствор, улучшая питательный режим почвы. Кроме того, гидратированный аморфный кремнезем является наиболее биологически активным (обусловлено наличием OH^-). Малые размеры и высокая поляризуемость позволяет силикат – ионам легко проникать через клеточную мембрану, питая растение кремнием.

Аналогичные результаты наблюдали в 2020 году при возделывании проса (табл. 4).

Вегетационный период 2020 года характеризовался количеством осадков выше нормы в первой его половине, тем не менее, запасы продуктивной влаги при внесении в

почву цеолита в дозе 500 кг/га в пахотном слое увеличились на 11, метровом – на 14 мм. Водоудерживающая способность почвы также повысилась при применении цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом (на 4–6 и 15–16 мм). Последнее обеспечило растения достаточным количеством влаги в период более засушливого периода второй половины вегетации культуры.

Таблица 4 – Влияние удобрений на запасы продуктивной влаги в почве под посевами проса (почва – чернозем типичный), средние за вегетационный период 2020 г., мм

Вариант	Слой почвы	
	0–20 см	0–100 см
Контроль	33	153
Цеолит, 500 кг/га	44	167
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	39	168
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	37	169
НСР ₀₅	3	7

Таким образом, высококремнистые породы, в данном случае, цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области, в значительной степени способствуют усилению водоудерживающей способности черноземов, экономному и рациональному расходованию продуктивной влаги в течение вегетации сельскохозяйственных культур. При этом запасы продуктивной влаги в пахотном слое в начале вегетации кукурузы при внесении цеолита в чистом виде в

зависимости от дозы породы были выше на 4–10 мм, метровом – на 10–13 мм; при внесении цеолита, обогащенного аминокислотами на 6–8 и 8–16 мм соответственно. Такую же закономерность наблюдали при использовании в качестве удобрения цеолита, обогащенного карбамидом. Результаты изучения водного режима чернозема типичного при возделывании проса были аналогичны. Несмотря на то, что погодные условия вегетации проса отличались достаточной обеспеченностью влагой, преимущество в запасах продуктивной влаги в пахотном и метровом слоях при внесении цеолита и удобрений на его основе составило 4–11 и 14–16 мм соответственно.

2.3. Активность почвенной биоты

Многочисленными исследованиями почв (Аристовская Т.В., 1980; Rica W.A., Clayton G.W., 1999; Терехова В.А., 2001; Матаруева И.А., 2005; Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Т.М., 2005; Добровольская Т.Г. и др. 2009; Емцев В.Т., Мишустин Е.Н., 2016) установлена первоочередная значимость почвенной биоты в протекании самых разнообразных биохимических и биологических процессов в почве, которые и формируют естественное ее плодородие. При этом функции их чрезвычайно разнообразны. Однако одна из главных функций – обеспечение корневого питания растений за счет ферментативной или иной химической способности постепенно переводить труднорастворимые и труднодоступные элементы питания в соединения, способные усваиваться растениями. Ими (почвенной биотой) осуществляются процессы аммонификации растительных и животных остатков, нитрификация

промежуточных азотсодержащих продуктов, трансформация промежуточных азотсодержащих продуктов, трансформация минеральной части почвы, органических и минеральных удобрений, иных соединений почвенной системы и т.д. В связи с этим важно оценить биологическое состояние почвы при применении любых агротехнических приемов, так как почвенные организмы являются одним из самых чувствительных индикаторов любых изменений, происходящих в почве под влиянием (действием) тех или иных факторов.

Почвенная биота представляет из себя чрезвычайно сложный комплекс разнообразных организмов. Она включает в себя микро-, мезо- и микрофауну, а также живые корни растений. Однако основная доля при этом приходится на микрофлору (бактерии, актиномицеты, микроскопические грибы и водоросли), которые составляют самую большую часть живой биомассы и отличаются самой высокой интенсивностью метаболизма (Звягинцев Д.Г. и др., 2005; Матаруева И.А., 2005). В связи с этим достаточно сложно, особенно для использования в практических условиях реального производства, подобрать интегральный показатель оценки состояния деятельности микроорганизмов. Исследования почвенной микробиоты предполагают изучение численности и разнообразия почвообитающих микроорганизмов, численности представителей различных эколого-трофических групп, биохимической и ферментативной активности выделяемых ими метаболитов, почвенного «дыхания» (выделения CO_2), интенсивности биогенной минерализации различных компонентов органического вещества и окислительно-восстановительных преобразований минеральной части почвы. Именно они являются информативными показателями для оценки состояния микроценозов почвы и

в целом биогеоценозов. Тем не менее, наиболее адекватными показателями деятельности микроорганизмов считаются скорость разложения целлюлозы, общая протеазная активность, биомасса микроорганизмов (Сорокин И.Д., 1996). Интенсивность разрушения клетчатки в почве характеризует энергию круговорота азота, а общая протеазная активность – азота почвенными организмами. Емцев В.Т. и Мишустин Е.М., (2016) считают, что метод аппликации достаточно полно характеризует общую направленность микробиологических процессов в почве. Разложение целлюлозы (клетчатки), которая является одним из основных компонентов органического вещества почвы, осуществляется самыми разными группами микроорганизмов (истинными бактериями, миксобактериями, актиномицетами, грибной микрофлорой) и часто служит показателем общей биологической активности почвы. В таблице 5 приведены показатели деятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов под посевами кукурузы, определенные разными методами (прямой подсчет численности, ферментативная активность, степень разрушения льняного полотна) в почве 3-х вариантов опыта, наиболее эффективных по исследованиям предыдущих лет.

Как показывают данные таблицы, при внесении в почву цеолита в чистом виде численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов практически не изменилась, но имела тенденцию к увеличению. Последнее стало заметным при совмещении цеолита с азотом и повысилась на 4 %, что свидетельствует о недостатке в почве минеральных форм азота, которые необходимы для деструкции клетчатки микроорганизмами. И только при совмещении цеолита с минеральным удобрением (в

данном случае карбамидом) появляется явная тенденция к увеличению численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Таблица 5 – Целлюлозоразрушающая активность пахотного слоя почвы под посевами кукурузы в зависимости от внесения цеолита в чистом виде и совмещении его с азотом

Вариант	Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, КОЕ/1 г абс. сухой почвы	Целлюлозная активность, мг глюкозы/10 г почвы за 48 часов	Разложение льняного полотна, %
Контроль	7,13	6,45	29,2
Цеолит, 500 кг/га	7,17	6,48	33,4
Цеолит, 500 кг/га + N ₆₀	7,38	7,11	35,3

Изменение численности микроорганизмов сопровождалось соответствующей вариабельностью целлюлозной ферментативной активности, которая обязана гидролитическим ферментам – целлюлазам, продуцируемым многими группами почвенной микробиоты. Здесь наблюдали такую же закономерность – целлюлазная активность повысилась на 10 % на фоне совместного применения цеолита 500 кг/га и карбамида в дозе азота 60 кг/га. Что касается разложения льняного полотна, оно заметно усилилось при применении цеолита как в чистом виде, так и совместно с азотным удобрением – на 14 и 21 относительных процента. Следовательно, для

повышения эффективности кремнистых пород, в данном случае цеолита, в качестве удобрения сельскохозяйственных культур, необходимо дополнительное внесение минерального азота. Данный вывод является теоретической основой для создания новых видов высокоэффективных удобрений внедрением в них, в частности, аминокислот и карбамида.

Последнее подтверждается данными следующей таблицы 6.

Таблица 6 – Общая биологическая активность почвы под посевами проса (в среднем за вегетацию, метод аппликации), 2020 г.

Вариант	Биологическая активность, %	Отклонение от контроля	
		%, абсолютное значение	%, относительное значение
Контроль (без удобрений)	29,0	—	—
Цеолит, 500 кг/га	37,8	+8,8	+30
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	48,3	+19,3	+67
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	46,8	+17,8	+61
НСР ₀₅	4,9	—	—

Применение цеолита в чистом виде сопровождалось очень значительным усилением деятельности почвенных организмов (на 30 относительных процента), что, несомненно, обусловлено улучшением при этом

структурного состояния и водного режима почвы. Кроме того, по-видимому, внесение активного кремнезема в почву непосредственно влияет на деятельность почвенной микрофлоры, механизм которой мало изучен.

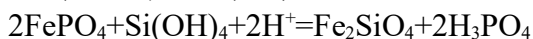
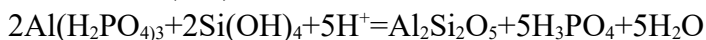
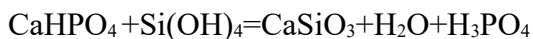
Создание оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов через улучшение физических и водно-физических свойств почвы обеспечивает улучшение питательного режима почвы и формирование (как будет показано ниже) более высокой урожайности сельскохозяйственных культур.

2.4. Питательный режим

Нет сомнения в том, что усиление деятельности почвенных микроорганизмов способствует улучшению питательного режима почвы, поскольку они являются главными агентами, способствующими переводу труднодоступных форм элементов в доступные для растений соединения. При этом влияние кремниевых соединений (удобрений) на эффективное плодородие почвы, прежде всего, связывают с положительным действием на содержание доступного растениям фосфора.

Изучение взаимодействия кремниевых и фосфорных соединений имеет достаточно длительную историю, начиная с конца 19-го века и до настоящего времени. Было установлено (доказано), что кремниевые соединения способствуют переводу недоступных фосфатов в доступные, а также препятствуют фиксации фосфора (например, вносимых с минеральными удобрениями почвой). Более того, по расчетам В.В. Матыченкова (2008) кремниевые соединения могут снизить расход фосфорных удобрений на 30–50 %.

Механизм взаимовлияния силикат– и фосфат–ионов до конца не выяснен. Было высказано несколько гипотез влияния кремниевых соединений на фосфаты. Наиболее распространенное мнение, высказанное в 1949 году К.Л. Аскинази и многократно подтвержденное в последующем, что анион кремниевой кислоты вытесняет фосфат–ион из труднодоступных фосфатов с образованием соответствующих силикатов (Аскинази К.Л., 1949; Рочев В.А., Швейкина Р.В., Барсукова Г.А., Попова Н.Н., 1980); Гладкова К.Ф., 1982; Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., 2003; Самсонова Н.Е., 2005, 2019; Матыченков В.В., 2008; Куликова А.Х., 2013; Матыченков И.В., 2014):



Модельные и полевые эксперименты подтвердили наличие данных процессов в почве. В частности, в полевых опытах с применением диатомита в качестве удобрения нами установлена прямая линейная зависимость между повышением количества монокремниевой кислоты при внесении в почву кремнийсодержащей породы и увеличением содержания в ней подвижного фосфора. Уравнение регрессии имеет вид:

$$y = 49,46 + 3,33x \quad (R=0,6),$$

где y – содержание P_2O_5 , мг/кг почвы;

x – содержание водорастворимого кремния, мг/кг почвы.

В силу большого разнообразия в природных условиях факторов, влияющих на взаимодействие кремниевых и фосфорных соединений, справедливо предположить, что существует ряд других механизмов. Например, возможен анионный обмен SiO_2 на анионы

фосфорной кислоты (Read W.L., 1973), анионы кремниевой кислоты способны блокировать активные карбонаты почвенного раствора, предохраняя тем самым внесенные с удобрением фосфаты от ретроградации (Акентьева М.В., 1952), при внесении кремнийсодержащих соединений возможно снижение фиксирующей способности коллоидной фракции почв менее 0,1 мк в отношении фосфатов (Иванов А.Л., 1992) и т.д.

При использовании кремнийсодержащих пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур (как было сказано выше) проблемной остается азотное питание растений, особенно на почвах, бедных органическим веществом. Тем не менее, ряд исследователей отмечают заметное улучшение азотного питания культур при внесении кремнистых пород в почву (Рочев В.А., Швейкина Р.В. и др., 1980; Кинтаналья М.Г.Ф, 1987; Матыченков В.В., 2008; Куликова А.Х., 2013; Guo et. al., 2010). При этом авторы объясняют это непосредственным влиянием активных форм кремния на деятельность почвенных микроорганизмов, благодаря чему усиливаются процессы аммонификации, нитрификации, связывания атмосферного азота (Воронков М.Г., Зелчан Г.И., 1990; Самсонова И.Е., 2001). Установлен так же синергизм действия азотных и кремниевых удобрений при их совместном применении на свойства почвы и возделываемые культуры (Ma J.F., Takahashi E., 2002; Yang et. al., 2008).

Кремниевые соединения способствуют улучшению питания растений не только азотом и фосфором, но и другими элементами, в частности, калием (Khalid R.A, Silva L.A., 1978; Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В., 2011). Микроорганизмы, способные воздействовать на минеральную часть почвы (например,

бактерии *Bacillus mucilaginosus*), активно разлагают труднорастворимые минералы в почвах (силикаты, глинистые минералы, апатиты, фосфориты), что сопровождается высвобождением и поступлением в почвенный раствор ионов калия, водорастворимых форм кремния, подвижных соединений фосфора, которые таким образом становятся доступными растениям.

Проведенные нами исследования показали значительное улучшение питательного режима почвы при внесении в почву цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом (табл. 7,8,9).

Данные таблицы убедительно доказывают, что внесение в почву цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом по сравнению с применением породы в чистом виде, способствует очень значительному повышению содержания в почвенном растворе минерального азота ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$): на 0,8–1,8 мг/кг (10–22 %) под посевами кукурузы, на 5,1–6,5 мг/кг под посевами проса (27–35 %) и на 16–25,5 мг/кг почвы под посевами рапса (65–104 %). Аминокислоты (как отмечалось выше), имея маленький размер молекул (менее 10–и ангстрем) и высокую биологическую активность, легко проникают в поры цеолита при его внедрении и так же легко высвобождаются при поступлении в почву, обогащая ее доступным азотом. Кроме того, справедливо допустить несомненную активизацию при этом деятельности почвенных микроорганизмов, прежде всего, аммонификаторов и нитрификаторов, что ускоряет минерализацию органических соединений и переход азота в минеральные формы (NH_4^+, NO_3^-), доступные растениям. Обогащенный техническим азотом (карбамидом) цеолит в этом отношении несколько уступает.

Таблица 7 – Влияние экспериментальных удобрений на содержание основных элементов питания в пахотном слое почвы (мг/кг) и ее обменную кислотность (единиц рН_{КС}) под посевами кукурузы (среднее за вегетацию)

Вариант	рН _{КС}	N-NO ₃ +N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля
Контроль (без удобрений)	5,40	8,1	–	168	–	148	–
Цеолит, 250 кг/га	5,75	8,5	+0,4	173	+5	154	+6
Цеолит, 500 кг/га	5,86	8,7	+0,6	178	+10	158	+10
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	5,74	9,1	+1,0	174	+6	155	+7
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	5,78	9,9	+1,8	176	+8	153	+8
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,63	8,9	+0,8	171	+3	154	+5
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	5,55	9,3	+1,2	172	+4	175	+6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,36	11,1	+3,0	188	+20	169	+21
НСР ₀₅	0,11	0,4		5		6	

Таблица 8 – Влияние цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом на содержание доступных элементов питания в пахотном слое почвы под посевами проса, мг/кг

Вариант	(NH ₄ +NO ₃)	P ₂ O ₅	K ₂ O	SiO ₂
Контроль	18,7	143	102	28,0
Цеолит, 500 кг/га	19,3	152	110	34,6
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	25,2	159	108	38,3
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	23,8	147	103	35,8
НСР ₀₅	0,6	7	6	1,0

Таблица 9 – Влияние цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидами на агрохимические показатели чернозема выщелоченного под посевами рапса

Вариант	(NH ₄ ⁺ NO ₃), мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	pH _{KCl}	Hg, моль /100 г	Гумус, %
Контроль	24,4	75	100	5,10	6,81	5,5
Цеолит, 250 кг/га + NPK	29,1	75	110	5,21	6,69	5,5
Цеолит, 500 кг/га + NPK	44,3	90	140	5,31	6,38	5,6
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га+ NPK	42,2	80	130	5,22	6,38	5,5
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га +NPK	49,9	100	185	5,35	6,47	5,6
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га + NPK	40,4	105	180	5,28	6,48	5,5
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га + NPK	41,4	95	180	5,28	6,38	5,6
HCP ₀₅	1,0	6	9	0,10	0,21	0,2

При внесении в почву цеолита в пахотном слое увеличилось количество доступных растениям фосфора и калия до 10 мг/кг посевами кукурузы, на 8–9 мг/кг – проса и 20–40 мг/кг почвы – рапса, что подтверждает роль кремниевых соединений в повышении доступности данных элементов. Следует отметить при этом, что если под посевами кукурузы при внесении обогащенного аминокислотами не произошло увеличения содержания фосфора и калия по отношению к варианту с применением цеолита в чистом виде, то под посевами проса и рапса количество данных элементов, почти удвоилось. Последнее напрямую связано активизацией деятельности микроорганизмов в большей степени под посевами проса. Уравнение прямой корреляции имеет вид:

$$y = 0,53x + 128,93,$$

где y – содержание доступного фосфора, мг/кг;

x – биологическая активность, %.

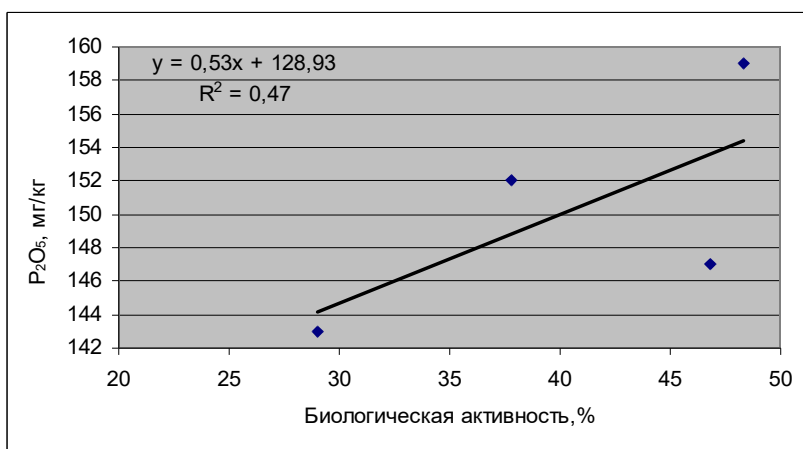


Рисунок 1. Зависимость содержания P₂O₅ от биологической активности почвы (под посевами проса)

Особо следует остановиться на изменении реакции почвенного раствора (pH_{KCl}) пахотного слоя при внесении цеолита в почву. При этом в почве 2-го и 3-го вариантов под посевами кукурузы сдвиг кислотности в зависимости от дозы породы составил 0,35 и 0,46 единиц pH_{KCl} . Учитывая, что доза цеолита невысокая (250 и 500 кг/га), следует признать несомненную нейтрализующую кислотность почвы способность цеолита. В наших предыдущих исследованиях установлено, что при более высоких дозах цеолита (6–12 т/га) снижение обменной кислотности на дерново-подзолистых почвах может достигать 1,11 ед. pH_{KCl} и более (Козлов А.В., Куликова А.Х., Румянцев Р.И., 2020). Последнее, несомненно, обязано достаточно высокому содержанию в цеолите Юшанского месторождения Ульяновской области кальция и магния (17 %). Однако, в вариантах, где вносили цеолит, обогащенный карбамидом, нейтрализующая эффективность удобрения несколько снижалась. По-видимому, карбамид поступая в почву в составе цеолита, быстро аммонифицируется (под действием фермента уреазы, выделяемой уробактериями), затем постепенно подвергается нитрификации с образованием азотной кислоты. На стадии нитрификации временное подщелачивание почвы сменяется сдвигом реакции в сторону подкисления. Динамика этих процессов и определяет кислотно-основное состояние почвы при этом.

Заслуживает внимания изменение содержания доступного кремния в почве при внесении цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом (табл. 8).

Мы неоднократно утверждали, что установлено благоприятное влияние кремния и кремнийсодержащих соединений на питательный режим почвы. Однако сам кремний так же является необходимым и незаменимым элементом питания растений. Растения обычно потребляют 50–200 кг/га Si/га и вынос его с 1 гектара в зависимости от культуры и ее урожайности может составить 300–700 кг/га (Самсонова Н.Е., 2019). Поскольку практически кремниевые удобрения в стране не применяются, на любых почвах, как правило, создается отрицательный баланс доступного для растения кремния. Последний может стать ограничивающим урожайность культур элементом. Поэтому очень важно определить обеспеченность почв доступными формами кремния. Однако, как справедливо отмечает Н.Е. Самсонова (2019), до настоящего времени отсутствует надежная информация о степени обеспеченности почв данным элементом, о потребности сельскохозяйственных культур в кремнии и как они соотносятся между собой. Исследователи нашей страны чаще всего используют градацию почв по дефициту доступного кремния, предложенную В.В. Матыченковым в 2007 году (табл. 10).

Актуальный кремний определяется в водной вытяжке и отражает содержание монокремниевой кислоты. Образование актуального Si (или монокремниевой кислоты) обязано аморфному тонкодисперсному кремнезему, который растворяется в кислой вытяжке ($0,1 \text{ н HCl}$) и является ближайшим резервом доступного кремния.

Таблица 10 – Градация почв по дефициту доступного для растений кремния, Si мг/кг почвы

Уровень дефицита Si в почве	Актуальный Si	Потенциальный Si	Активный Si
Нет дефицита	>40	>600	>1000
Низкий уровень	20–40	300–600	500–1000
Дефицит	10–20	100–300	200–500
Высокий уровень	0–10	0–100	0–200

В связи с этим автор (В.В. Матыченков) предложил следующую формулу определения активного кремния в почве: активный Si=10 (актуальная форма Si) + потенциальная форма Si, так как ряд исследователей считает, что в водный раствор переходит примерно 1/10 часть аморфного кремнезема (Matichenkov V.V., Bocharnikova E.A., 2004; Айлер Р., 1992; Furmer V.C., Ressel T.D., Smith B.F., 1983; Matichenkov V.V., Culvert D, Shyder G.H. et. al., 2001).

Нет дефицита – как правило, не испытывают дефицита кремния почвы с высоким уровнем плодородия. Тем не менее, целесообразно применять на данных почвах кремниевые удобрения для оптимизации фосфорного и азотного питания растений.

Низкий уровень дефицита часто наблюдается на почвах с достаточно высоким уровнем плодородия (черноземы, серо-лесные и др.), но интенсивно используемых в сельском хозяйстве.

Дефицит Si характерен для сельскохозяйственных угодий с низким уровнем плодородия (дерново-подзолистые почвы).

Высокий уровень дефицита Si наблюдается на сильно деградированных и песчаных почвах, где из-за недостатка доступного кремния сильно снижается урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность применяемых удобрений.

Как показали наши исследования, на черноземах Среднего Поволжья с низким уровнем дефицита доступного кремния отзывчивость сельскохозяйственных культур, особенно требовательных к данному элементу, достаточно высокая и наблюдается прямая связь между содержанием монокремниевой кислоты и урожайностью. Так, при возделывании проса она описывается уравнением:

$$y = 0,11x - 0,57,$$

где y – урожайность проса, т/га;

x – содержание водорастворимого кремния, мг/кг.

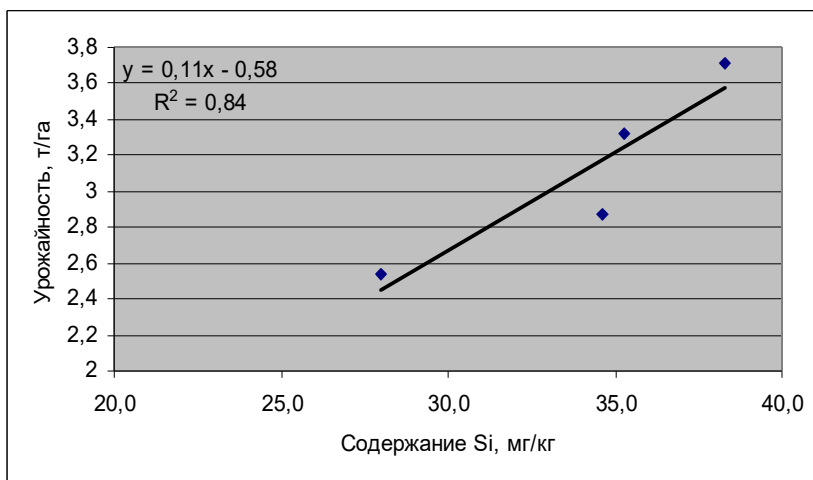


Рисунок 2. Зависимость урожайности проса от содержания водорастворимого кремния в почве

Аналогичная зависимость наблюдалась при возделывании рапса и кукурузы.

2.5. Содержание тяжелых металлов (ТМ)

К настоящему времени накоплено огромное количество сведений, свидетельствующих о нарастании антропогенного загрязнения окружающей среды, в том числе тяжелыми металлами. Термин «тяжелые металлы» применяется к элементам либо с плотностью, превышающей 5 г/см^3 , либо с атомным номером больше 20–и. Существует и другая точка зрения, согласно которой к тяжелым металлам относятся свыше 40 химических элементов с атомными массами свыше 50 атомных единиц. Тяжелые металлы, к которым относятся Co, Ni, Cu, Zn, Sn, As, Te, Rb, Ag, Cd, Au, Hg, Pb, Bi и др. по своей токсичности уступают только пестицидам, а отдельные из них превосходят последние (Дьяконова О.В., 2005; Кравченко А.Л., 2016).

В почвах тяжелые металлы присутствуют в твердой фазе и почвенном растворе. В почвенном растворе ТМ могут находиться в виде свободных ионов, комплексов, хелатов и доступны растениям. Поэтому крайне важно определить степень доступности тех или иных элементов и разработать приемы, способствующие снижению их подвижности. Для этого необходимо знать формы нахождения ТМ в почвах и их химизм.

Как правило, мониторинг содержания тяжелых металлов в почвах чаще всего проводят по наиболее токсичным элементам: Cd, Pb, Cu, Zn, Ni. В таблице 11 приведены средние валовые и подвижные формы в

черноземе выщелоченном опытного поля Ульяновского ГАУ. Анализ данных таблицы показывает, что валовое количество ТМ в черноземе выщелоченном ни по одному элементу не превышает предельно допустимые концентрации металлов в почве. Однако, судя по показателю ПДЭН, наиболее напряженная обстановка в Ульяновской области складывается с содержанием кадмия. Известно, что кадмий обладает мутагенными и канцерогенными свойствами и представляет генетическую опасность.

Содержание его в почве на уровне 5 мг/кг наполовину снижает продуктивность сельскохозяйственных культур, а период полувыведения из почвы один из самых больших – около 1100 лет (Соколов О.А., Черников В.А., 1999). Кроме того, следует отметить высокую подвижность кадмия в почве, которая, как правило, превышает 50 % (в нашем случае 40 %). Следовательно, кадмий представляет наибольшую опасность с точки зрения получения экологически безопасной продукции и обуславливает необходимость безусловного контроля растениеводческой продукции по содержанию в ней данного элемента. Высокая усвояемость кадмия определяет общую закономерность, чем больше его в почве, тем больше поступает он в растение.

Что касается остальных контролируемых элементов, подвижность их практически не превышает 20 %: меди – 20 %, свинца – 14 %, никеля – 14 %, хрома (трехвалентного, наиболее токсичный шестивалентный хром в почвах Ульяновской области отсутствует) – 20 % и только цинка достигает 24 %.

Таблица 11 – Содержание тяжелых металлов в черноземе выщелоченном опытного поля Ульяновского ГАУ, мг/кг

Элемент	Валовое содержание		Подвижные формы		ПДЭН**
	Пределы колебаний (среднее)	ПДК*	пределы колебаний (среднее)	ПДК	
Цинк (Zn)	<u>21,5–30,0</u> 25,8	100	<u>5,8–6,5</u> 6,2	23	очень низкая (15–30)
Медь (Cu)	<u>11,8–13,2</u> 12,5	55	<u>1,9–3,0</u> 2,5	3	низкая (5–15)
Свинец (Pb)	<u>1,8–13,6</u> 12,7	30	<u>1,4–2,1</u> 1,8	6	низкая (5–10)
Кадмий (Cd)	<u>1,0–1,5</u> 1,2	3	<u>0,5–1,0</u> 0,5	0,5***	высокая (0,5–1,0)
Никель (Ni)	<u>12,1–12,4</u> 12,3	85	<u>1,3–2,1</u> 1,7	4	низкая (10–20)
Хром (Cr ³⁺)	<u>9,1–10,3</u> 9,7	4	<u>0,5–3,2</u> 1,9	6	

*ПДК – предельно допустимая концентрация

**ПДЭН – предельно допустимая экологическая нагрузка

***ОДК – ориентировочно допустимая концентрация

Химизм любых элементов в почве определяется противоположно направленными процессами: сорбция – десорбция, растворение – переход в твердое состояние. Поступающие из техногенных выбросов элементы связываются с органическими и неорганическими лигандами и со временем становятся недоступными растениям (Борисов Д.Е., Лукаткин А.С., 2000; Башмаков Д.И., 2009).

Определяющим подвижность элементов фактором выступает реакция почвенного раствора: в кислой среде подвижность большинства элементов возрастает (табл. 12).

Таблица 12 – Подвижность тяжелых металлов в различных почвах в зависимости от pH почвенного раствора

pH _{почвы} (KCl)	Практически неподвижен	Слабо подвижен	Подвижен
Почвы кислые с pH _{KCl} <5.5	Mo	Pb, Cr, Ni, V, As, Se, Co	Sr, Ba, Cu, Cd, Ni, Zn, Hg, Sn
Почвы слабокислые и нейтральные	Pb	Sr, Ba, Cr, Ni	Zn, As, Sn
Почвы щелочные и сильнощелочные с pH 7,5–9,5	Pb, Ba, Co	Co, Mo, Hg, Zn, Ag, Sr, Cu, Cd	Mo, V, As, Sn

Как уже отмечалось выше, внесение в почву природных сорбентов с высоким содержанием кремния способствует значительному снижению подвижности тяжелых металлов. В наших предыдущих исследованиях убедительно доказана роль диатомита в этом качестве (табл. 13).

Как следует из приведенных данных, при внесении диатомита в почву происходит заметное снижение подвижности тяжелых металлов (на 8–18 %). Известно, что монокремниевая кислота может образовать с тяжелыми металлами труднорастворимые силикаты (Lindsay, 1979: цит. по Матыченкову В.В., 2008):

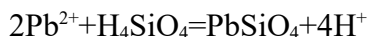
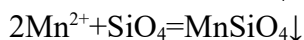
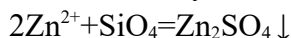


Таблица 13 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве в зависимости от внесения диатомита, мг/кг

Вариант	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr ³⁺
Контроль	6,10	3,23	2,47	0,57	2,77	1,97
Диатомит, 5 т/га	5,37	2,73	2,27	0,47	2,43	1,63
НСР ₀₅	0,42	0,5	0,20	0,03	0,20	0,13
ПДК	23	3	6	0,5	4	6

В.В. Матыченков (2008) установил, что подвижность ТМ в системе зависит от начальной и конечной концентраций монокремниевой кислоты: при внесении малых количеств активного кремния идет образование подвижных комплексов с металлами и повышение общего содержания растворимых их форм; при значительном повышении монокремниевой кислоты в почве или растворе происходит образование труднорастворимых силикатов элементов. При этом существует критическая концентрация монокремниевой кислоты, при которой происходит изменение характера их взаимодействия. Последняя определяется свойствами почвы (рН, окислительно–восстановительный потенциал и т.д.). В наших опытах, как было установлено ранее при

применении диатомита в качестве удобрения и показано в экспериментах с цеолитом, при содержании в пахотном слое черноземов кремния в пределах 20–40 мг/кг (низкий уровень дефицита) проявлялась четкая тенденция снижения содержания подвижных соединений тяжелых металлов (табл. 14). Так, в черноземе выщелоченном под посевами рапса содержание подвижных соединений кадмия, наиболее токсичного из ТМ, при внесении цеолита в дозе 250 кг/га снизилось на 0,04 и 500 кг/га — на 0,08 мг/кг почвы, или на 14 и 28 %. Следовательно, имеется прямая зависимость подвижности данного элемента от дозы цеолита. Влияние цеолита на подвижность тяжелых металлов в почве сохранялось при обогащении его аминокислотами и карбамидом, а также совмещением минеральными удобрениями.

Таким образом, кремнистые породы, благодаря высокому содержанию в них аморфного кремнезема, в значительной степени переводят подвижные соединения тяжелых металлов в труднодоступные растениям формы, тем самым способствуя получению экологически более безопасной продукции сельскохозяйственных культур.

**Таблица 14 – Содержание подвижных форм ТМ в пахотном слое чернозема
выщелоченного под посевами рапса, мг/кг**

Вариант	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr
Контроль (без удобрений)	4,0	9,2	2,2	0,29	4,6	3,4
Цеолит, 250 кг/га	3,7	8,8	1,8	0,25	4,4	3,1
Цеолит, 500 кг/га	3,2	8,2	1,8	0,21	3,6	2,8
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	3,9	8,7	2,0	0,27	4,3	3,2
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	3,3	8,5	1,9	0,24	4,3	3,2
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	3,9	8,8	1,9	0,24	4,3	3,2
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	3,5	8,4	1,8	0,22	4,1	3,0
N ₄₄ 3P ₂₀ K ₁₄ (NPK)	4,0	8,9	2,2	0,26	4,5	3,8
Цеолит, 250 кг/га+NPK	3,6	8,6	2,2	0,23	4,5	3,7
Цеолит, 500 кг/га+NPK	3,2	7,6	2,1	0,21	3,9	3,2
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га+NPK	3,6	6,6	2,0	0,14	4,5	3,7
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га+NPK	3,2	6,5	1,9	0,13	4,0	3,5
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га+NPK	3,6	6,6	2,4	0,21	4,4	3,6
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га+NPK	3,6	6,5	2,0	0,18	4,1	3,5
НСР ₀₅	3	23	6	0,5	4	6

ГЛАВА 3. УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ (В ТОМ ЧИСЛЕ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ)

Урожайность культур является результирующим показателем любых агротехнических приемов, направленных на повышение их продуктивности. Что касается удобрений, которые являются одним из основных факторов воздействия на почвенную среду развития растений, оптимизацией их можно добиться не только повышения урожайности, но и качества продукции. Кремнистые породы в этом отношении, в том числе цеолит (как показано выше), позволяют значительно улучшить базовые физические, химические свойства почвы, тем самым общую направленность биологических процессов и ее питательный режим.

Имеется огромное количество экспериментальных данных (глава 1), свидетельствующих о положительном влиянии кремниевых соединений на урожайность сельскохозяйственных культур, которые приведены в обобщающих обзорах. Особенно это касается кремниелюбивых культур таких, как, например, рис. И, не случайно, в Японии, где основной культурой является рис, еще в конце 60-х годов прошлого века под рис на площади 900 тыс. га вносили 1 млн. тонн силикатных отходов промышленности как кремнеземистые металлургические шлаки, зола тепловых станций и т.д. (цит. по Водяницкому Ю.И., 1984). Сама рисовая солома, содержащая от 4 до 20 % SiO_2 используется в Японии в качестве кремниевого удобрения (Yoshida S., 1978).

Тем не менее, большинство исследователей приходит к выводу, что биогенность и агрономическую

ценность кремнийсодержащего и минерального сырья можно и необходимо повысить путем предварительного смешивания их с органическими и минеральными удобрениями, так как состав данных пород по элементам питания не всегда соответствует потребностям возделываемых культур и эффективность их достигается за счет устранения дефицита доступного кремния и благоприятного воздействия данных пород на физико-химический состав почвы. Проблему можно решить модификацией кремнистых пород предварительной подготовкой и внедрением в них тех или иных соединений или ионов с тем, чтобы обеспечить растения всеми необходимыми элементами в оптимальном соотношении. В этом отношении экспериментальные удобрения на основе цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области в значительной степени соответствуют этим требованиям. Ниже приводятся результаты испытаний их при возделывании рапса, кукурузы и проса.

3.1. Рапс

Рапс (*Brassica napus*) в настоящее время одна из самых перспективных и востребованных культур. Более того, он превращается в культуру стратегическую, позволяющую получать продукты питания для человека и корм для животных, так и возобновляемое техническое сырье, широко используемое в промышленности и транспорте. Этому рапс обязан своему составу: в семенах содержится 35–50% жира, 19–31 % белка (хорошо сбалансированного по аминокислотному составу), 5–7 % клетчатки. Не случайно в мировом земледелии рапс выращивают на площади более 23,5 млн га.

Распространены посевы рапса и в Поволжье и составляют более 16 % общей их площади.

Рапс обладает высоким потенциалом продуктивности, которая может достигать 3,5–4,0 т/га семян и 50,0–60,0 т/га зеленой массы. Однако средняя урожайность рапса ярового составляет 1,6–2,0 т/га, а максимальная – 2,7–2,8 т/га и в этом отношении значительно уступает уровню европейских стран. Последнее обуславливает необходимость разработки научно–обоснованной технологии его возделывания с учетом почвенно–климатических условий. Прежде всего, необходимо обратить внимание на систему удобрения культуры.

Рапс, из семейства капустных, является самым чувствительным к условиям выращивания и питания. Культура формирует достаточно большую вегетативную массу, следовательно, начиная с ранних стадий развития и роста, растения имеют высокую потребность в азоте. Фосфор необходим для формирования хорошо разветвленной корневой системы. Калий способствует обильному цветению растений рапса и улучшает нектаровыделение, вследствие чего формируется большее количество семян. В среднем примерная оптимальная потребность в доступном азоте растений рапса составляет 47–65 кг, фосфора 22–40 кг, калия 50–82 кг на 1 т продукции. Потребность в кремнии у рапса также значительная.

Впервые цеолит, обогащенный аминокислотами, в дозе 250 кг/га был нами испытан в производственных условиях ООО «Хлебороб» Ульяновского района. Площади посевов (контроль и вариант с внесением обогащенного аминокислотами цеолита), составляли по 1 гектару. Почва – чернозем выщелоченный

среднесуглинистый среднемощный. Исследования показали очень высокую эффективность удобрения на основе цеолита как по урожайности, так и по качеству семян (табл. 15).

Урожайность семян рапса повысилась на 0,87 т/га (73 %), содержание жира – на 2,3 %. При этом сумма жира и белка значительно превосходит как сою, так и подсолнечник. Установлено, что в суммарном белке рапса ярового содержится 17 аминокислот, в том числе все незаменимые, особенно высокое содержание глютаминовой и аспарагиновой кислот (Мироненко А.В., 1990).

В 2020 году опыты с внесением в почву обогащенного аминокислотами, а также карбамидом цеолита при возделывании рапса были продолжены по расширенной 14-й вариантной схеме (табл. 16).

Приведенные в таблице данные убедительно подтверждают высокую эффективность цеолита в качестве удобрения рапса: даже при сравнительно невысокой дозе в 250 кг/га урожайность семян повысилась на 30 % и незначительно уступает варианту с минеральными удобрениями. Обогащение цеолита карбамидом, то есть усиление азотного питания растений, способствовало повышению урожайности семян на 0,04 – 0,1 т/га (доза 500 кг/га) больше. Прибавка по отношению к варианту с внесением цеолита в чистом виде невысокая. Последнее свидетельствует о том, что в формировании более высокой урожайности семян рапса по отношению к контролю имела оптимизация кремниевого питания растений.

Таблица 15 – Влияние обогащенного аминокислотами цеолита на урожайность и качество семян рапса (2019 г.)

Вариант	Урожайность, т/га	Содержание жира, %	Кислотное число	Содержание, %		
				белок	Р	К
Контроль	1,20	39,9	2,86	35,58	0,72	0,87
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	2,07	42,2	2,46	33,48	0,75	0,87

Таблица 16 – Урожайность рапса в зависимости от применения цеолита и экспериментальных удобрений на его основе (2020 г., - КФК Мельников Сурского района)

Варианты	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля	
		т/га	%
Контроль(без удобрений)	0,97	–	–
Цеолит, 250 кг/га	1,26	+0,29	30
Цеолит, 500 кг/га	1,31	+0,34	35
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	1,32	+0,35	36
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	1,35	+0,38	39
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	1,38	+0,41	42
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	1,41	+0,44	45
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (NPK)	1,41	+0,44	45
Цеолит, 250 кг/га+NPK	1,44	+0,47	52
Цеолит, 500 кг/га+NPK	1,52	+0,55	57
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га+NPK	1,48	+0,51	53
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га+NPK	1,54	+0,57	9
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га+NPK	1,47	+0,50	52
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га+NPK	1,55	+0,58	60
НСР ₀₅	0,18		

Следует отметить, что рапс является одной из самых кремниеволюбивых культур. При обогащении цеолита азотосодержащими соединениями (аминокислотами и карбамидом) урожайность культуры не уступает варианту с минеральными удобрениями. В данных опытах наиболее высокую урожайность семян рапса наблюдали на варианте совместного внесения минеральных удобрений и цеолита: прибавка в дозе 500 кг/га составила 0,57 и 0,58 т/га, или она повысилась на 59 и 60 %. Однако экономически данные варианты, как будет показано ниже, менее эффективны.

Благоприятное влияние цеолита, особенно, обогащенного аминокислотами и карбамидом, на почвенные условия произрастания способствовало формированию более качественной и экологически безопасной продукции.

3.2. Кукуруза

Урожайность культур в любых почвенно–климатических условиях определяется уровнем их питания. На черноземах выщелоченных Среднего Поволжья с высокой обеспеченностью доступными фосфором и калием кукуруза (*Zea mays*) способна формировать урожайность зерна в 5–6 т/га (табл. 17).

В среднем за 2016–2018 гг. внесение в почву цеолита способствовало существенному повышению урожайности зерна на 0,93 (доза 500 кг/га) и 1,36 т/га (доза 2000 кг/га), или на 16 и 23 % соответственно.

Последнее свидетельствует о необходимости при возделывании кукурузы на данных почвах улучшения

питания азотом и кремнием. Подтверждение тому добавление к цеолиту в тех же дозах азота 60 кг/га позволило повысить урожайность культуры на 2,12 и 2,46 т/га. При этом особо следует отметить, она превосходит вариант с применением полного минерального удобрения. Однако средние дозы азота (не менее 60 кг д.в./га) при этом необходимы. Последнее подтвердилось в исследованиях 2020 года с использованием в качестве удобрения цеолита, обогащенного аминокислотами.

Таблица 17 – Влияние цеолита и минеральных удобрений на урожайность зерна кукурузы (средняя за 2016–2018 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонения от контроля	
		т/га	%
Контроль	5,89	—	—
Ц 500 кг/га	6,82	+0,93	16
Ц 2000 кг/га	7,25	+1,36	23
NPK	7,74	+1,85	31
Ц 500+ NPK	8,32	+2,43	41
Ц 2000+ NPK	8,65	+2,76	49
Ц 500+ N ₆₀	8,01	+2,12	36
Ц 2000 + N ₆₀	8,35	+2,46	42
НСР ₀₅	0,33		

Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применения в технологиях ее возделывания новых экспериментальных удобрений на основе цеолита обогащением аминокислотами и карбамидом представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применения экспериментальных удобрений (2020 г.)

Вариант	Уро- жайность, т/га	Отклонения от контроля	
		т/га	%
Контроль	5,42	–	–
Цеолит, 250 кг/га	5,57	+0,15	3
Цеолит, 500 кг/га	6,22	+0,80	15
Цеолит, модифицированный аминокислотами, 250 кг/га	6,29	+0,87	16
Цеолит, модифицированный аминокислотами, 500 кг/га	6,48	+1,06	20
Цеолит, модифицированный карбамидами, 250 кг/га	6,31	+0,89	16
Цеолит, модифицированный карбамидами, 500 кг/га	6,51	+1,09	20
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (NPK)	7,63	+2,21	41
Цеолит, 250 кг/га +NPK	7,79	+2,37	44
Цеолит, 500 кг/га+NPK	8,14	+2,72	50
Цеолит, модифицированный аминокислотами, 250 кг/га+NPK	7,94	+2,52	47
Цеолит, модифицированный аминокислотами, 500 кг/га+NPK	8,95	+3,53	65
Цеолит, модифицированный карбамидом, 250 кг/га +NPK	7,82	+2,40	44
Цеолит, модифицированный карбамидом, 500 кг/га +NPK	8,76	+3,34	62
НСР ₀₅	0,35		

Внесение в почву цеолита оказало значительное положительное влияние на ее физическое состояние, что, несомненно, обязано поликремневым кислотам, находящимся в цеолите в аморфном состоянии. Последние, так же, как гуминовые кислоты, при достаточном присутствии ионов кальция, склеивают почвенные частицы в агрегаты. При внесении в почву цеолит способствовал оструктурированию и, соответственно, разуплотнению почвы: содержание агрегатов размерами 10–0,25 мм в пахотном слое увеличивалось на 16,5 и 21,1 % (абсолютные значения) в зависимости от дозы цеолита: плотность приобрела оптимальные для культуры значения.

Оптимизация физических свойств почвы под действием высококремнистых пород (в данном случае цеолита) способствовала улучшению условий жизнедеятельности микроорганизмов, в том числе адсорбированных внутри почвенных агрегатов.

Кремний и кремнийсодержащие соединения в значительной степени могут влиять на питательный режим почвы. Это, прежде всего, касается фосфора. Установлено, что кремниевая кислота способна вытеснять фосфор из труднорастворимых фосфатов, хотя механизм их взаимодействия до конца не выяснен. При этом сам кремний также является необходимым и незаменимым элементом питания растений. Растения обычно потребляют 50–200 кг Si/кг и вынос его с 1 гектара в зависимости от культуры и ее урожайности может составить 30–700 кг/га (Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я. М., 2007). Поскольку практически кремниевые удобрения в стране не применяются, на любых почвах, как правило, создается отрицательный баланс доступного для растений кремния.

Последний, может стать ограничивающим урожайность культур элементом. Во многих работах отмечается, что кремний улучшает азотное питание растения, улучшая деятельность почвенных микроорганизмов (Рогчев В. А., Швейкина Р. В., Барсукова Г. А., Попова Н. Н., 1980; Кинтаналья М–Г. Ф., 1987).

Особо необходимо остановиться на содержании в черноземе выщелоченном актуального кремния. Актуальный кремний определяется в водной вытяжке в виде монокремниевой кислоты (H_4SiO_4), которая проявляет высокую физико–химическую активность и оказывает большое влияние на биогеохимические процессы в почве. В данной почве наблюдается низкий дефицит содержания актуального кремния (20–40 мг/кг). Кукуруза – требовательная к данному элементу культура и содержание его в доступной форме на контрольном варианте не достаточно. Внесение цеолита позволило значительно улучшить кремниевое питание растений. Потребность культур в кремнии может усиливаться при возделывании их с применением только минеральных удобрений. Следует также отметить, что имеется прямая связь между содержанием актуального кремния и подвижными фосфатами, что свидетельствует о влиянии монокремниевой кислоты на доступность фосфора (Куликова А Х., 2013).

Результаты определения урожайности зерна кукурузы подтвердили литературные сведения о возможности повышения эффективности кремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур. Как свидетельствуют полученные результаты (табл. 18), обогащение цеолита аминокислотами и карбамидом позволило значительно повысить урожайность

зерна кукурузы: при применении с дозой 500 кг/га прибавка ее составила 1,06 т/га, или 20 %.

Кукуруза высокоурожайная и требовательная к плодородию почвы культура и для ее формирования необходимо достаточное количество элементов питания. Возделывание ее с внесением в почву азотно–фосфорно–калийного удобрения обеспечило прибавку урожайности в 2,21 т/га. Однако применение на этом фоне экспериментальных удобрений на основе цеолита повысило продуктивность кукурузы по отношению к контролю на 2,52–3,53 т/га, или на 47–65 %. Последнее убедительно доказывает высокую эффективность удобрений на основе цеолита обогащением его аминокислотами и карбамидом.

Показатели качества зерна кукурузы и его экологической безопасности представлены в таблицах 19, 20.

Приведенные данные убедительно свидетельствуют об улучшении всех качественных показателей зерна кукурузы при использовании в качестве удобрения обогащенного аминокислотами цеолита. Так, содержание белка в зерне увеличивалось на 10–13 %. Повысилось содержание фосфора и калия.

В таблице 20 представлена экологическая оценка зерна кукурузы по содержанию тяжелых металлов.

Таблица 19. Качественные показатели зерна кукурузы в зависимости от применения цеолита и его модификаций в качестве удобрения, %

Вариант	Белок	Крахмал	N	P	K
Контроль (без удобрений)	11,8	53,3	1,89	0,26	0,37
Цеолит, 250 кг/га	12,5	48,1	1,90	0,23	0,37
Цеолит, 500 кг/га	12,9	43,3	1,89	0,28	0,36
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	13,0	42,0	1,93	0,23	0,40
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	13,3	39,4	2,12	0,28	0,38
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	11,6	45,6	1,86	0,28	0,34
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	12,4	41,7	1,99	0,28	0,38
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	11,9	50,8	1,86	0,29	0,39
НСР ₀₅	0,3	1,9	0,05	0,05	0,03

Таблица 20. Содержание тяжелых металлов в зерне кукурузы, мг/кг

Вариант	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Контроль (без удобрений)	3,2	13,6	0,41	0,26	0,04
Цеолит, 250 кг/га	2,9	12,4	0,35	0,25	0,03
Цеолит, 500 кг/га	2,5	11,5	0,30	0,20	0,02
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	2,8	11,9	0,35	0,22	0,03
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	2,4	11,3	0,34	0,19	0,02
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	3,0	12,4	0,35	0,24	0,03
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	2,7	12,2	0,35	0,24	0,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,3	15,0	0,42	0,29	0,04
НСР ₀₅	0,1	0,4	0,02	0,04	0,01
ПДК в зерне	30,0	50,0	5,00	0,50	0,10

Производство продукции растительного происхождения – основа продовольственной безопасности страны, особенно в условиях экономических санкций. Однако важен не только объем производимой продукции, но не менее – качество ее, которое определяет здоровье нации. Поэтому при высокой техногенной нагрузке на окружающую среду важно не допустить поступление токсикантов в растение.

С точки зрения экологически безопасного ведения сельскохозяйственного производства особую опасность представляют пестициды и тяжелые металлы, наиболее опасными из которых являются кадмий, свинец, никель.

Кадмий относится к числу наиболее фитотоксичных элементов, как уже отмечалось выше – это наиболее подвижный, следовательно, наиболее доступный из всех ТМ элемент. Накапливаясь в клетках и тканях живых организмов, кадмий способен вызывать серьезные нарушения их метаболизма. Соответственно вызывает торможение роста растений, ингибирует процессы нарастания надземной массы, снижая объем питающих корней и, как следствие, урожайность культур (Лукин С.В., Кононенко Л.А., Мирошникова Ю.В., 2004).

По токсичности свинец относится к высокоопасному классу. Повышенная концентрация свинца в растениях (более 3–5 мг/кг сухой массы) подавляет фотосинтез, дыхание, митоз, ростовые процессы и в целом их продуктивность. При повышении содержания его в почве он в большей степени накапливается в корнях растений, в меньшей степени – основной продукции (Ковальский А.Л., 1991).

Никель относится к умеренно–опасным элементам, оказывает неспецифическое влияние на ряд металлоферментных комплексов. Способствует

формированию спиральной структуры незаменимых кислот, входит в состав гормона инсулина. Принадлежит к числу элементов, вызывающих эндемические заболевания – хлороз и некроз.

К тяжелым металлам также относятся элементы, абсолютно необходимые растениям, в то же время в избыточном поступлении в растения оказывающее высокотоксичное действие. Это, прежде всего, цинк и медь. Оба элемента входят в состав ряда ферментов, обуславливающих и регулирующих жизненно важные процессы. С другой стороны – они высокотоксичны. Так, летальная доза накопления цинка для человека составляет 200 мг/кг веса.

Как видно из приведенных в таблице 20 данных, применение, в том числе обогащенного аминокислотами цеолита в качестве удобрения кукурузы, позволяет значительно снизить поступление металлов в продукцию: меди от дозы 500 кг/га на 22–25 %, цинка – на 15–17 %, никеля на 27–17 %, свинца на 23–27 % и на 50 % – кадмия. Последнее, несомненно, обусловлено способностью монокремниевой кислоты образовывать с тяжелыми металлами труднорастворимые силикаты (Матыченков В.В., 2008). При этом удвоение дозы цеолита сопровождается практически пропорциональным уменьшением накопления элементов в зерне кукурузы.

Что касается варианта с применением минеральных удобрений – поступление ТМ в продукцию заметно увеличивается, что связано как с присутствием в удобрениях данных элементов в виде примесей, так и относительным подкислением почвенной среды при применении физиологически кислых удобрений.

3.3. Просо

Просо (*Panicum miliacum*), относится к числу важнейших крупяных культур, которая по вкусовым и пищевым качествам занимает одно из первых мест, является одним из самых засухоустойчивых и жаростойких культур, менее других страдает от вредителей и болезней. И, не случайно, площади посевов его продолжают расширяться и в России в 2019 году составили 392,7 тыс. га. Однако урожайность культуры в области остается низкой, тогда как потенциальные возможности ее составляют не менее 4,5 т/га. При этом большую роль играет научно–обоснованная система удобрения. Удобрение проса имеет свои особенности: до фазы кушения культура потребляет минимальное их количество (около 7 %) необходимых для него питательных веществ. Тем не менее, в этот период оно больше всего нуждается в азоте. В фазе стеблевания и выметывания метелок растения проса потребляют максимальное их количество (около 65 %), кроме фосфора, который необходим в большом количестве в период налива зерна. Максимум усвоения азота, калия и кальция приходится на фазу цветения, фосфора – налив зерна. Азот является решающим фактором, основой формирования урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и проса. Поэтому на черноземах выщелоченных наиболее эффективны азотные, затем фосфорные удобрения. Как показали результаты исследований, цеолит, в т.ч. обогащенный аминокислотами и карбамидом, способствует оптимизации питательного режима в течение всей вегетации культуры (табл. 21).

Первые экспериментальные образцы удобрений на основе цеолита при возделывании проса нами были

испытаны в 2019 году и показали очень высокую отзывчивость культуры на применение цеолита как в чистом виде в дозе 500 кг/га, так и обогащении его аминокислотами и карбамидом.

Таблица 21. Влияние цеолита и удобрений на его основе на урожайность проса, 2019 г.

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля	
		т/га	%
Контроль	2,54	—	—
Цеолит, 500 кг/га	2,87	+0,3	13
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	3,71	+1,17	46
Цеолит, 500 кг/га +N ₄₀	3,32	+0,78	31
НСР ₀₅	0,17		

Прибавка урожайности зерна при обогащении цеолита аминокислотами составила более одной тонны на гектаре (!), или урожайность почти удвоилась. Опыты были продемонстрированы на научно–практическом семинаре и вызвали широкую дискуссию.

В 2020 году в схему опыта были введены варианты с дозой удобрений по 250 кг/га и вариант с применением минеральных удобрений (табл. 22). Все закономерности, обозначенные в предыдущем году, подтвердились: цеолит, обогащенный как аминокислотами, так и карбамидом обусловил повышение урожайности культуры от 0,56 до 0,84 т/га. Более того, по результатам исследований 2020 года для формирования такой же урожайности достаточны дозы обогащенного

аминокислотами цеолита в 250 кг/га, что экономически значительно более оправдано.

Таблица 22 – Внесение цеолита и удобрений на его основе на урожайность проса, 2020 г.

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля	
		т/га	%
Контроль	2,33	–	–
Цеолит, 250 кг/га	2,55	+0,22	9
Цеолит, 500 кг/га	2,72	+0,39	17
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	3,08	+0,75	32
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	3,17	+0,84	36
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	2,89	+0,56	24
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	3,04	+0,71	31
НПК (N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀)	3,24	+0,91	39
Цеолит, обогащенный аминокислотами и карбамидом, 250 кг/га	3,16	+0,83	36
НСР ₀₅	0,18		

Судя по НСР₀₅, при применении обогащенного аминокислотами цеолита в дозе 500 кг/га, урожайность зерна проса не уступает варианту с внесением минеральных удобрений (N₄₀P₄₀K₄₀). Отсюда вытекают два очень важных вывода: во–первых – просо одна из самых кремниелюбивых культур, во–вторых – при возделывании его на черноземах с нейтральной реакцией почвенной среды и высокой обеспеченностью фосфором и калием необходимо вносить дополнительный азот (в данном

случае в виде внедрения в цеолит аминокислот и карбамида).

Формированию значительно более высокой урожайности проса при внесении в почву цеолита и удобрений на основе внедрения в него аминокислот и карбамида способствовало неоднократно подтвержденное нами улучшение физических, биологических и, как следствие, питательного режима почвы в течение всей вегетации (табл. 23).

Таблица 23 – Содержание основных элементов питания (N, P, K, Si) и реакция почвенного раствора в черноземе типичном в течение вегетации под почвами проса, мг/кг, 2019 г.

Вариант	(NO ₃ +NH ₄)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Si	pH _{kcl}
Контроль	18,7	143	102	28,0	6,4
Цеолит, 500 кг/га	19,3	152	110	34,6	6,7
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	25,2	159	108	38,3	6,8
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	23,8	147	103	35,3	6,6
НСР ₀₅	1,1	5	4	2,3	0,3

В среднем за вегетацию культуры при внесении в почву цеолита и удобрений на его основе содержание всех элементов питания, несмотря на усиленное питание ими растений, поддерживалось на более высоком уровне. Как свидетельствуют данные таблицы, при внесении обогащенного аминокислотами цеолита содержание

минерального азота в пахотном слое почвы увеличивалось на 6,5 мг/кг (35 %), кремния на 16 мг/кг (37 %).

Содержание доступного калия осталось практически на том же уровне, количество подвижного фосфора увеличилось на 16 мг/кг (11 %).

Анализ результатов исследований в данном опыте подтвердил, что наиболее значимыми из агрохимических показателей, определяющих формирование урожайности проса является содержание в пахотном слое минеральных форм азота, фосфора, калия и водорастворимого кремния. Соответствующие уравнения имеют вид:

$$y = 0,15x_1 - 0,23,$$

$$y = 0,11x_2 - 0,58,$$

$$y = 0,06x_3 - 5,61,$$

$$y = 0,04x_4 - 1,36,$$

где y – урожайность зерна проса, т/га;

x_1 – содержание минерального азота ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$), мг/кг;

x_2 – содержание водорастворимого кремния, мг/кг;

x_3 – содержание подвижного фосфора (P_2O_5), мг/кг;

x_4 – содержание доступного калия (K_2O), мг/кг.

Уравнение регрессии первой степени имеет следующий вид (рис. 3, 4, 5, 6).

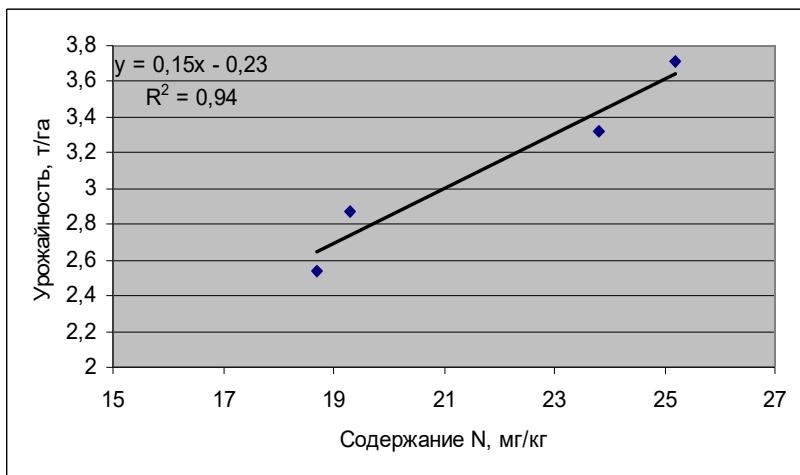


Рисунок 3 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном минерального азота (x)

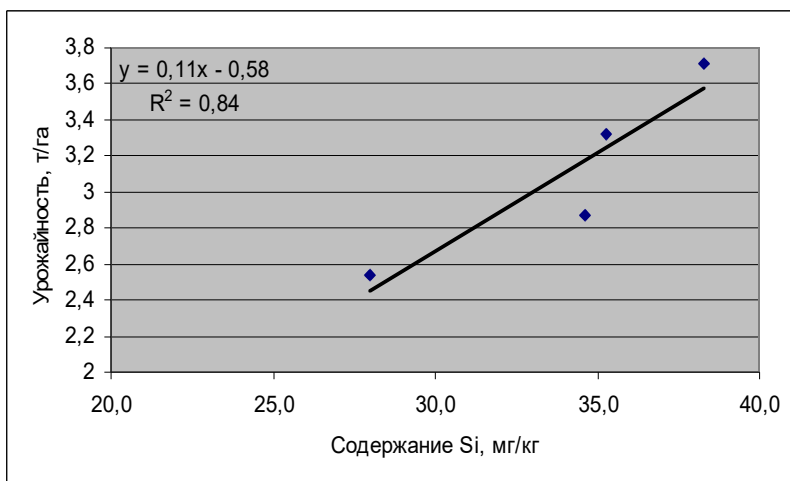


Рисунок 4 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном водорастворимого кремния (x)

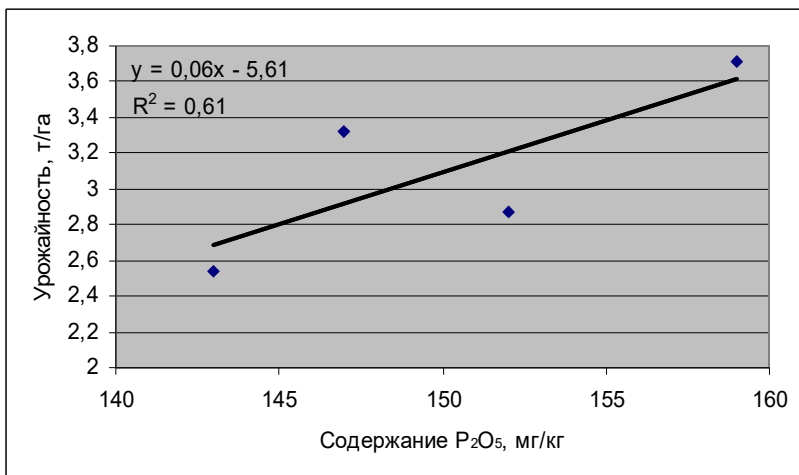


Рисунок 5 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном P_2O_5 (x)

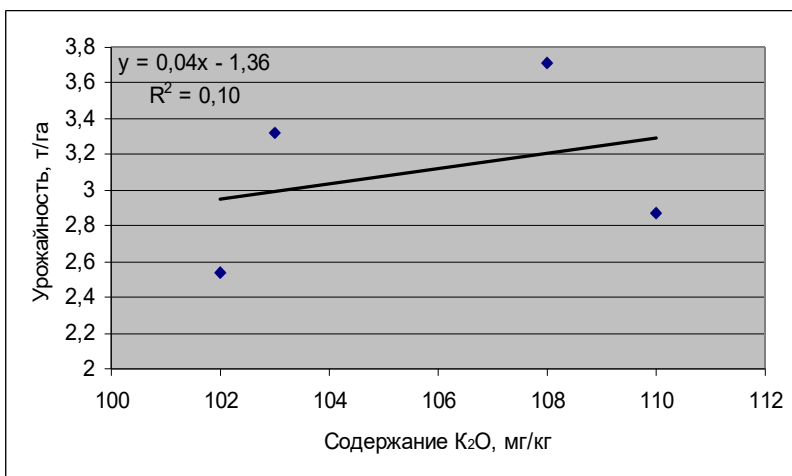


Рисунок 6 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном K_2O (x)

Произошедшие изменения в содержании макроэлементов, несомненно, обусловлены теми процессами, происходящими в почве при внесении данных удобрений, о которых сказано выше.

В таблицах 24 и 25 приведены показатели качества зерна проса и его экологической безопасности.

Таблица 24 – Показатели качества зерна проса в зависимости от применения удобрений, %

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Белок	Крахмал
Контроль	1,51	0,59	0,41	8,61	44,4
Цеолит, 500 кг/га	1,54	0,58	0,44	8,78	42,2
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	1,62	0,62	0,45	9,23	40,1
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	1,57	0,61	0,44	8,95	41,3
НСР ₀₅	0,05	0,05	0,03	—	1,9

Вследствие лучшей обеспеченности элементами питания, полученное зерно содержит большее количество белка, фосфора и калия (на 7,5 и 10 %). Очень значительно снизилось накопление в зерне особо опасных тяжелых металлов: свинца и кадмия в 2 и более раз.

**Таблица 25 – Содержание тяжелых металлов в
зерне проса, мг/кг**

Вариант	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
Контроль	12,1	5,1	0,22	0,012	1,19
Цеолит, 500 кг/га	11,4	4,3	0,12	0,005	1,11
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	11,1	4,4	0,11	0,005	1,12
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	11,5	4,6	0,12	0,009	1,09
НСР ₀₅	0,4	0,2	0,04	0,002	0,02
ПДК в продукции	50	30	0,5	0,10	5,0

ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕОЛИТА И УДОБРЕНИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ

4.1. Экономическая эффективность

Оценка экономической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур является неотъемлемой частью прогнозирования устойчивости функционирования предприятий, производящих сельскохозяйственную продукцию. Чтобы выдерживать конкуренцию, и просто выжить в условиях экономических санкций, необходимо производить продукцию с высокими показателями качества и минимальными затратами на её производство. Последнее особенно актуально для технологий с использованием минеральных удобрений в связи с постоянным удорожанием их стоимости, что приводит к увеличению затрат на их внесение. И, несмотря на значительное повышение урожайности культур, производство продукции их становится убыточным. То же самое касается органических удобрений и нетрадиционных минеральных ресурсов, как высококремнистые породы или осадки сточных вод, которые значительно дешевле, но затратны их транспортировка и внесение. Ниже приводится экономическая оценка технологии возделывания рапса, проса и кукурузы с использованием цеолита и удобрений на его основе обогащением его аминокислотами при применении как в чистом виде, так и на фоне минеральных удобрений. Обсуждение их сопровождается анализом производства данных культур,

как одних из наиболее востребованных в настоящее время и площади посевов которых значительно увеличились.

При экономическом анализе технологий возделывания экспериментальных культур использовались нормативы и расценки, принятые для производственных условий опытного поля ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ (просо), в ООО «Агрофирма Абушаев» и КФХ Мельников. Стоимость продукции определялась в соответствии с ценой реализации, которые сложились в 2020 году. Все расчеты выполнены на основе технологических карт.

4.1.1. Анализ производства и экономической эффективности возделывания рапса

В последнее время в ряде стран резко возрос интерес к производству рапса. Несмотря на то, что в России эта культура сравнительно новая и относительно недооцениваемая, ее производство активно увеличивается. Рапс - одна из самых высоколиквидных сельскохозяйственных культур. При соблюдении технологий возделывания можно получить рентабельность свыше 90 %. Наращивание объемов производства рапса для сельскохозяйственных организаций выгодное и перспективное направление в их деятельности.

Рапс - культура будущего. Из сельскохозяйственной он превращается в культуру стратегическую, позволяющую получать не только продукты питания, корма для животных, но и возобновляемое техническое сырье, широко используемое на транспорте и в промышленности. Динамическое расширение посевных площадей рапса, а также стремительный рост производства рапсового масла стали возможны, потому что были созданы высокоурожайные сорта ярового и озимого рапса,

не содержащие в масле эруковой кислоты, а в шроте их обнаруживается незначительный процент глюкозинолатов. Рапс стал источником увеличения производства ценного пищевого продукта для человека и питательного корма для животных.

В России в структуре посевных площадей под масличными культурами и в валовом производстве масличного сырья на долю рапса до 2005 года приходилось не более 3 — 4 % (117 — 260 тыс. га и 112 — 280 тыс. т соответственно). Резкое увеличение посевных площадей под рапсом в 2007 году до 530 тыс. га вызвано агрессивной маркетинговой политикой западноевропейских инвесторов, заинтересованных в создании сырьевой базы, необходимой для удовлетворения потребностей стремительно развивающейся в ЕС биоэнергетики (Вагин А.В., 2017).

С агротехнической точки зрения рапс является хорошим предшественником: рано освобождает поле, улучшает структуру и плодородие почвы, уменьшает засоренность полей. Возделывание зерновых культур после рапса гарантирует получение прибавки урожая зерна в среднем на 5 ц с 1 га без дополнительных затрат, повышая продуктивность севооборота и эффективность растениеводства в целом.

Посевные площади рапса в 2001 — 2019 гг. представлены на рис. 7.

В 2019 году, по данным Росстата, посевные площади рапса в Российской Федерации составили 1545,5 тыс. га. В том числе, площади ярового рапса составили 1 354,4 тыс. га, озимого рапса — 191,1 тыс. га.

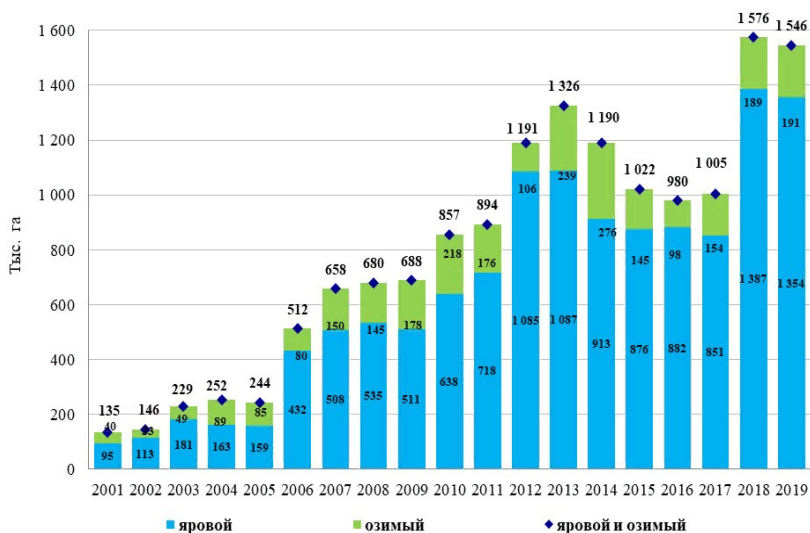


Рисунок 7 - Динамика посевных площадей рапса в хозяйствах всех категорий в 2001— 2019 гг., тыс. га

За год они сократились на 2,0 % (на 30,8 тыс. га), за 5 лет (к 2014 году) выросли на 29,9 % (на 355,7 тыс. га), за 10 лет (к 2009 году) посевные площади рапса увеличились на 124,5 % (на 857,1 тыс. га). По отношению к 2001 году, они повысились на 1047,8 % (на 1410,9 тыс. га).

Посевные площади рапса по федеральным округам России в 2019 году представлены на рис. 8.

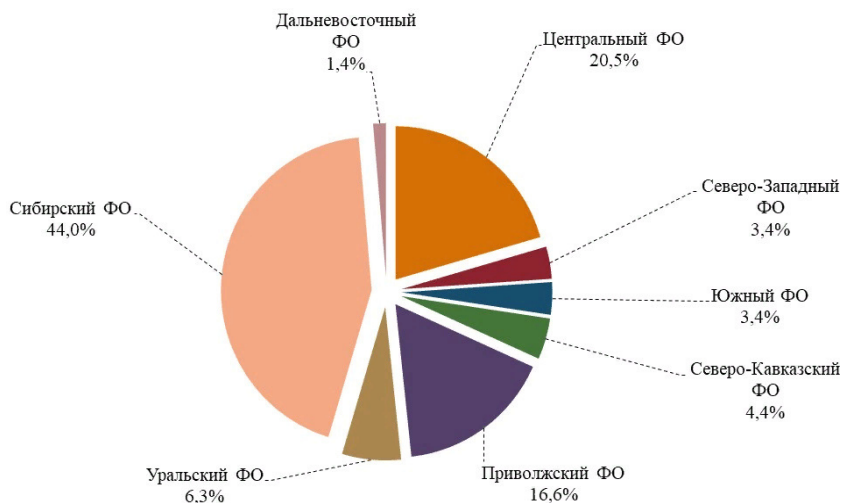


Рисунок 8 - Структура посевных площадей рапса в России по федеральным округам в 2019 году, %

В 2019 году, по отношению к 2018 году, произошло увеличение площадей выращивания рапса в Северо-Западном ФО, Южном ФО, Сибирском ФО и Дальневосточном ФО. В остальных ФО площади сократились.

В 2019 году в Сибирском ФО размеры площадей составили 680,0 тыс. га (44,0 % всех посевов рапса в России), в Центральном ФО - 317,3 тыс. га (20,5 %), в Приволжском ФО - 256,7 тыс. га (16,6 %), в Уральском ФО - 97,7 тыс. га (6,3 %), в Северо-Кавказском ФО - 67,3 тыс. га (4,4 %), в Южном ФО - 52,8 тыс. га (3,4 %), в Северо-Западном ФО - 52,5 тыс. га (3,4%), в Дальневосточном ФО - 21,2 тыс. га (1,4 %),

Посевные площади рапса в других регионах составили 276,3 тыс. га (17,9 % от общих размеров площадей). Отметим, что статистика посевных площадей,

валовых сборов и урожайности рапса в России по регионам РФ представлена в динамике 2007-2019 гг. представлены на рис. 9.

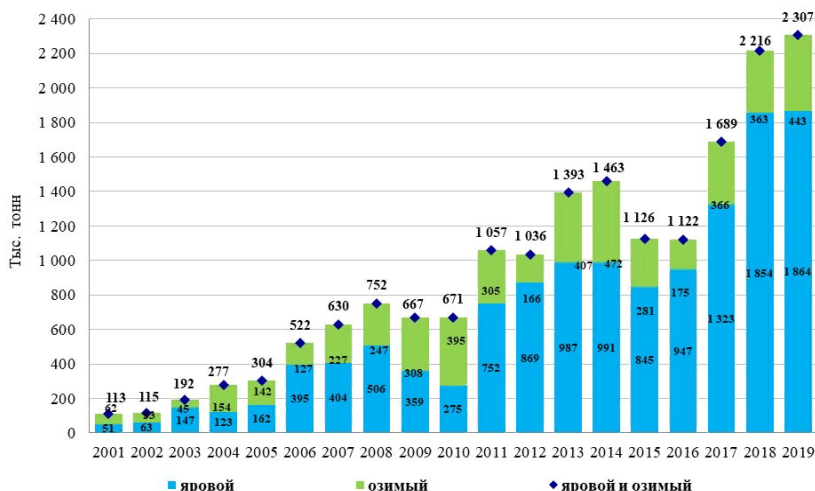


Рисунок 9 - Динамика валовых сборов рапса в хозяйствах всех категорий в 2001 — 2019 гг., тыс. тонн

В 2019 году, по данным Росстата, валовые сборы семян рапса в России составили 2 307,0 тыс. тонн в первоначальном весе (2 059,7 тыс. тонн в весе после доработки). В том числе, ярового рапса собрали 1 864,4 тыс. тонн, озимого - 442,6 тыс. тонн.

За год валовые сборы увеличились на 4,1 % (на 90,7 тыс. тонн), за 5 лет - на 57,7 % (на 844,5 тыс. тонн), за 10 лет - на 245,8 % (на 1639,9 тыс. тонн), к 2001 году - на 1938,0 % (на 2193,8 тыс. тонн).

Валовые сборы семян рапса по федеральным округам России в 2019 году: Сибирский ФО в 2019 году находился на первом месте по валовым сборам семян рапса - 793,0 тыс. тонн (34,4% в общих сборах семян рапса

в России), в Центральном ФО собрали - 638,8 тыс. тонн (29,6 %), в Приволжском ФО - 346,4 тыс. тонн (15,0 %), в Северо-Западном ФО - 159,1 тыс. тонн (6,9 %), в Южном ФО - 114,9 тыс. тонн (5,0 %), в Уральском ФО - 100,3 тыс. тонн (4,3 %), в Северо-Кавказском ФО - 97,3 тыс. тонн (4,2 %), в Дальневосточном ФО - 12,3 тыс. тонн (0,5 %).

Таблица 26 - Урожайность рапса по ключевым регионам-производителям (ТОП-10 регионов производителей) в 2019 году

№ п/п	Регион	Урожайность ц/га
1	Красноярский край.	17,0
2	Алтайский край	10,4
3	Тульская область	23,6
4	Республика Татарстан	14,9
5	Калининградская область .	13,9
6	Омская область	9,6
7	Липецкая область	22,5
8	Новосибирская область	11,5
9	Кемеровская область	14,7
10	Рязанская область	20,3
В среднем по РФ		16,2

Статистика посевных площадей, валовых сборов и урожайности рапса в России по регионам РФ представлена в динамике 2007 — 2019 гг. Валовые сборы семян рапса в

других регионах составили 369,4 тыс. тонн (16,0 % в общем объеме сборов).

Средняя урожайность рапса в России в 2019 году составила 16,2 ц/га убранной площади, что на 9,5 % (на 1,4 ц/га) больше, чем 2018 году. В том числе, урожайность ярового рапса в 2019 году составила 15,0 ц/га, озимого - 23,8 ц/га.

За 5 лет (к 2014 году), урожайность рапса повысилась на 17,4 % (на 2,4 ц/га), за 10 лет — на 35,0 % (на 4,2 ц/га). Среднегодовая урожайность рапса в России в 2010 — 2014 гг. составляла 12,1 ц/га, в 2015 — 2019 гг. - 14,7 ц/га.

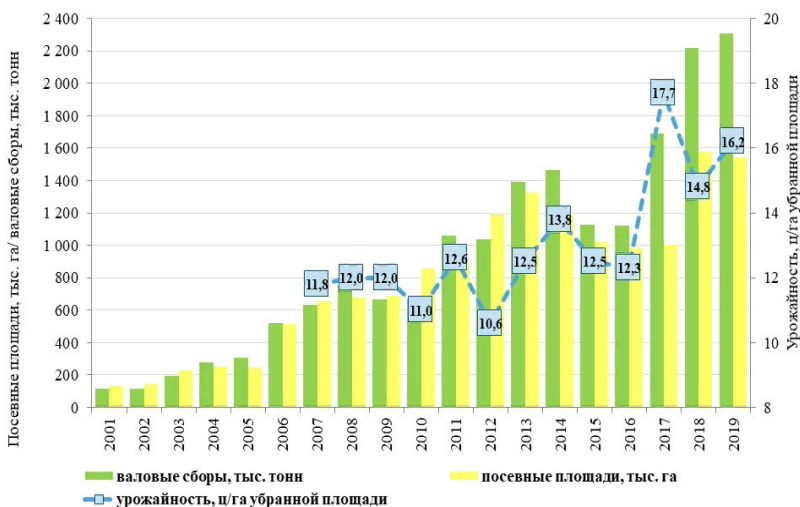


Рисунок 10 - Корреляция показателей валовых сборов, посевных площадей и урожайности рапса в России в 2001 — 2019 гг.

Анализ среднегодовых показателей за длительный период позволяет в значительной степени исключить

влияние природно-климатических факторов и определить вклад использования передовых технологий в изменение урожайности рапса в России.

Основные экономические показатели возделывания рапса в зависимости от применения новых удобрений пролонгированного действия на основе цеолита представлены в таблице 27.

Анализ экономической эффективности возделывания семян рапса с использованием цеолита и удобрений на его основе показал, что наиболее высокую прибыль обеспечивает внесение их в почву в дозе 250 кг/га, которая составила от 15,916 (цеолит в чистом виде) до 17,867 тыс. рублей (цеолит, обогащенный карбамидом), тогда как на контроле она ниже на 4,525-6,47 тыс. рублей. Уровень рентабельности производства семян рапса на данных вариантах выше 100 % (102, и 107 % соответственно). Следует отметить, что применение цеолита и его модификаций обогащением его аминокислотами и карбамидом по экономической эффективности не уступает варианту с использованием минеральных удобрений как по доходности, так и рентабельности производства.

Совместное применение минеральных и экспериментальных удобрений на основе цеолита сопровождалось повышением урожайности на аналогичных вариантах на 0,10—0,21 т/га, однако очень значительно возросли затраты (на 3,90—4,07 тыс. рублей/га) на их приобретение и внесение. При этом, хотя прибыль от производства семян рапса практически на уровне вариантов с применением цеолита и удобрений на его основе, рентабельность производства ниже контроля на 4-29 %.

Таблица 27 - Экономическая эффективность возделывания рапса

Варианты	Урожайность, т/га	Стоимость продукции, с 1 га, руб.	Производственные затраты на 1 га, руб.	Себестоимость 1 т, руб	Условный чистый доход, руб.	Уровень рентабельности, %
Контроль	0,97	24250	12859	13360	11391	89
Цеолиг, 250 кг/га	1,26	31500	15584	12369	15916	102
Цеолиг, 500 кг/га	1,31	32750	18111	13826	14639	81
Цеолиг, модифицированный аминокислотами, 250 кг/га	1,32	33000	16483	12488	16517	100
Цеолиг, модифицированный аминокислотами, 500 кг/га	1,35	33750	19878	14725	13872	70
Цеолиг, модифицированный карбамидом, 250 кг/га	1,38	34500	16633	12053	17867	107
Цеолиг, модифицированный карбамидом, 500 кг/га	1,41	35250	20123	14293	15127	75
N ₄₅ P ₃₀ K ₁₄ (NPK)	1,41	35250	17124	12145	18126	106
Цеолиг, 250 кг/га+NPK	1,44	36000	194904	13535	16510	85
Цеолиг, 500 кг/га+NPK	1,52	38000	221834	14594	15817	71
Цеолиг, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га+NPK	1,48	37000	20382	13771	16618	82
Цеолиг, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га+NPK	1,54	38500	239412	15546	14559	61
Цеолиг, обогащенный карбамидом , 250 кг/га+NPK	1,47	36750	206552	14051	16095	78
Цеолиг, обогащенный карбамидом , 500 кг/га+NPK	1,55	38750	241952	15610	14555	60

Следует учитывать положительное действие кремниевых пород на последующие культуры севооборота, что, несомненно, положительно скажется на рентабельности их производства.

Таким образом, проведенные расчеты экономической эффективности технологий возделывания рапса показали, что уровень рентабельности производства семян находился в пределах 60 – 107 %. Наиболее высокий показатель был на варианте с внесением цеолита, обогащенного карбамидом, в дозе 250 кг/га и составил 107 %.

Использование цеолита обогащенного как карбамидом, так и аминокислотами в дозе 250 кг/га при возделывании проса является экономически более целесообразным.

4.1.2. Анализ производства и экономической эффективности возделывания кукурузы на зерно

Мировым лидером по производству зерна кукурузы является США. Их общий объем урожая в 2018 составил около 366,3 млн. тонн. На втором месте Китай, а замыкает тройку лидеров Бразилия.

Среди производителей кукурузы Россия находится на 13 месте. В 2018 году собрано около 11,2 млн тонн кукурузы. По отношению к 2017 году сборы сократились на 15,5 % (на 2,1 млн. тонн), к 2013 году (за 5 лет) - на 3,8 % (на 443,7 тыс. тонн).

Кукуруза — относительно новая сельскохозяйственная культура для России. Ее никогда не выращивали глобально много. Но если посмотреть на мировую практику, то можно увидеть, что в мире две основные культуры приносят доход аграриям — кукуруза и соя. Так, например, в США производится 350 млн. тонн

зерна кукурузы. Там его активно используют в качестве корма для птицы. В России производится более 5 млн тонн мяса птицы. Если посчитать конверсию, то при изменении рационов кормления порядка 5 млн. тонн кукурузы могут «съесть» только производители бройлера. Но для этого российские сельхозтоваропроизводители сначала должны научиться производить такую кукурузу, которая по качеству подойдет им. Тогда и потребление культуры будет расти (Телюкин Л. В., 2017).

Но самые большие перспективы у российской кукурузы — в качестве сырья для продукции глубокой переработки. В Китае производится 22 млн. тонн только крахмалопродукции, а в России — лишь 0,8 млн тонн. Если пересчитывать на население, ее выпуск можно увеличить в 2,5 раза. Так, во многих странах сахар в виде *corn sugar* производят именно из кукурузы.

Во многих регионах кукуруза сейчас проигрывает в рентабельности пшенице. Есть и другие факторы, сдерживающие рост площадей. Во-первых, в центральной части страны кукуруза часто не вызревает, что приводит к высокой влажности при уборке. Например, в Ульяновской области этот показатель может достигать 30 %. Если у предприятия нет сушилки, то кукуруза быстро портится. Кроме того, при поздней уборке и длительном хранении влажной кукурузы значительно вырастает количество микотоксинов. А такую кукурузу уже затруднительно использовать для производства комбикормов для птицы или глубокой переработки. В то же время регистрация новых гибридов, которые могли бы справиться с высокой влажностью, в России проходит долго. Кроме того, Россия серьезно отстает от западных стран в плане урожайности. Если в США 150 ц/га считается нормальной урожайностью, то в нашей стране получить сбор в 100 ц/га

— уже очень хорошо, а средний показатель и вовсе составляет 50 ц/га .

Однако, в сезонах 2016 — 2017 гг. и 2017 — 2018 гг. по объемам экспорта кукурузы выходила на вторую позицию (после пшеницы), обогнав традиционного «серебряного призера» — ячмень. В этот период было вывезено соответственно 5,2 млн. тонн и 5,8 млн. тонн кукурузы, но это был нетипичный всплеск. В 2018 — 2019 ячмень вернул свое второе место: вслед за сокращением посевов резко снизились и поставки кукурузы за рубеж — до 2,7 млн тонн (Стулин А.Ф., 2020) .

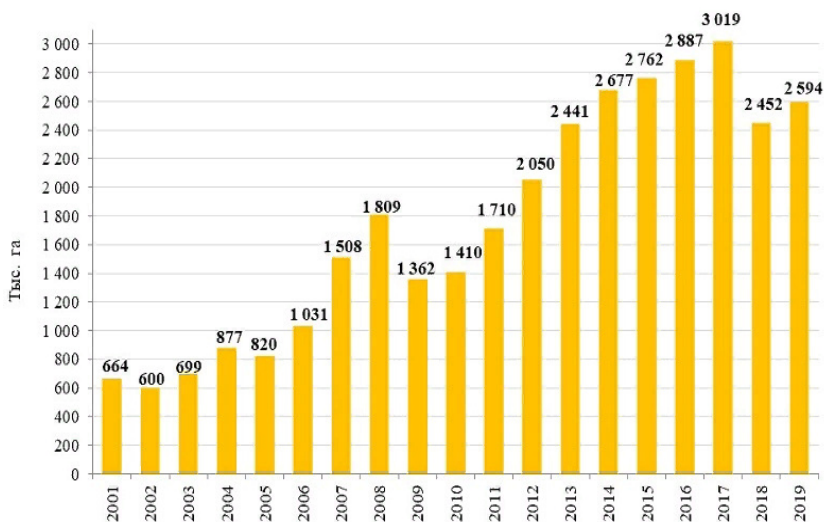


Рисунок 11 - Динамика посевных площадей кукурузы в хозяйствах всех категорий в 2001 — 2019 гг., тыс. га

В 2019 году произошло некоторое увеличение площадей возделывания кукурузы. По итогам года, по

данным Росстата (рис.12), они составили в Российской Федерации 2 593,9 тыс. га, что на 5,8 % (на 141,9 тыс. га) больше, чем в 2018 году. За 5 лет они сократились на 3,1 % (на 82,6 тыс. га), за 10 лет - выросли на 90,5 % (на 1 232,3 тыс. га), а к 2001 году посевная площадь выросла на 290,5 % (на 1 929,6 тыс. га).

Также следует отметить, что в 2019 году по отношению к 2018 году, произошло увеличение площадей выращивания кукурузы практически во всех федеральных округах страны, за исключением Южного ФО и Северо-Кавказского ФО.

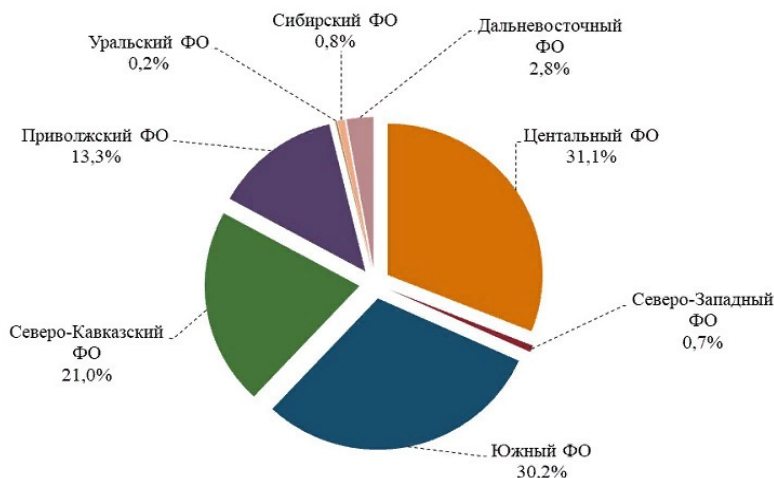


Рисунок 12 - Структура посевных площадей кукурузы в России по федеральным округам в 2019 году, %

В 2019 году в Центральном ФО размеры площадей составили 805,8 тыс. га (31,1 % всех посевов кукурузы в России), в Южном ФО - 782,9 тыс. га (30,2 %), в Северо-

Кавказском ФО - 545,3 тыс. га (21,0 %), в Приволжском ФО - 344,3 тыс. га (13,3 %), в Дальневосточном ФО - 72,9 тыс. га (2,8 %), в Сибирском ФО - 19,5 тыс. га (0,8 %), в Северо-Западном ФО - 18,3 тыс. га (0,7 %), в Уральском ФО - 4,9 тыс. га (0,2 %).

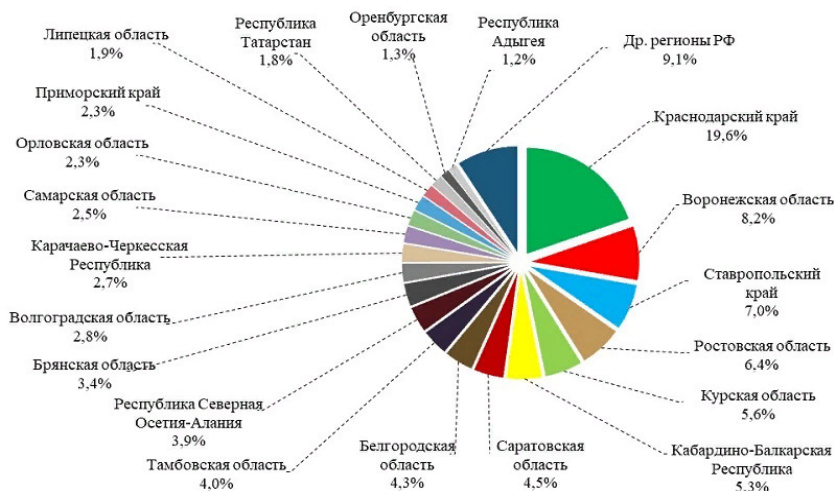


Рисунок 13 - Доля ТОП-20 регионов РФ в общих посевных площадях кукурузы в 2019 году, %

Посевные площади кукурузы в других регионах составили 237,2 тыс. га (9,1 % от общих размеров площадей).

В 2019 году, по данным Росстата, валовые сборы кукурузы в Российской Федерации составили 13 928,7 тыс. тонн, что на 22,0 % (на 2 509,7 тыс. тонн) больше, чем в 2018 году.

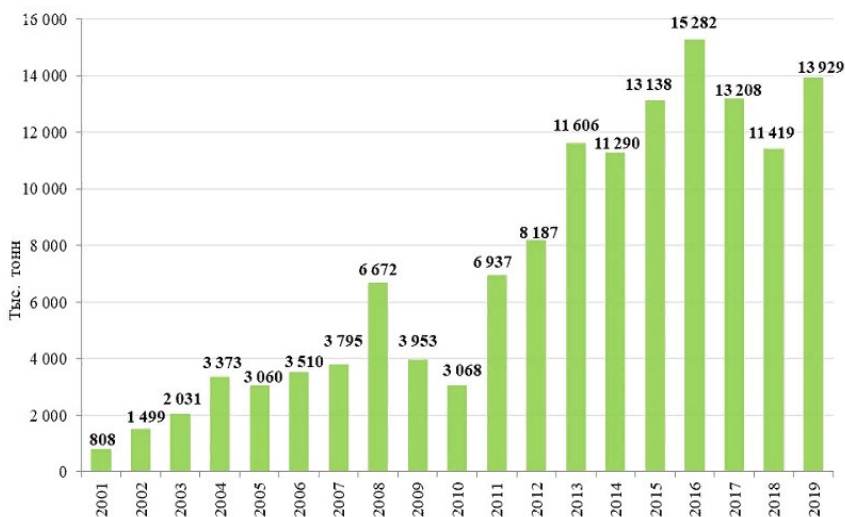


Рисунок 14 - Динамика валовых сборов кукурузы в хозяйствах всех категорий в 2001—2019 гг., тыс. тонн

За 5 лет (к 2014 году), валовые сборы выросли на 23,4 % (на 2 639,0 тыс. тонн), за 10 лет - на 252,3 % (на 9975,3 тыс. тонн), к 2001 году - на 1623,1 % (на 13120,3 тыс. тонн).

Центральный ФО в 2019 году находится на первом месте по валовым сборам кукурузы - 5619,0 тыс. тонн (40,3 % в общих сборах кукурузы в России), в Южном ФО собрали - 3 718,9 тыс. тонн (26,7 %), в Северо-Кавказском ФО - 2 842,6 тыс. тонн (20,4%), в Приволжском ФО - 1 257,3 тыс. тонн (9,0 %), в Дальневосточном ФО - 267,2 тыс. тонн (1,9 %), в Северо-Западном ФО - 154,8 тыс. тонн (1,1 %), в Сибирском ФО - 59,6 тыс. тонн (0,4 %), в Уральском ФО - 9,2 тыс. тонн (0,1 %).

По отношению к 2001 году, она повысилась на 219,4 % (на 39,5 ц/га).

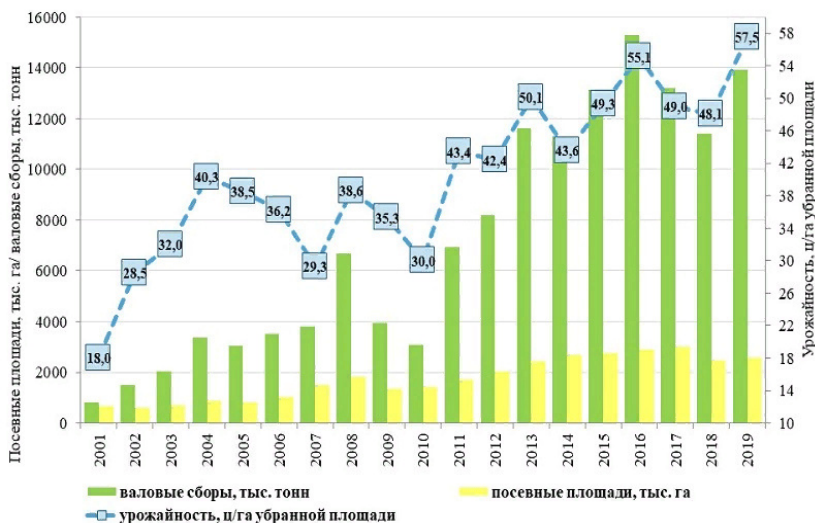


Рисунок 15 - Корреляция показателей валовых сборов, посевных площадей и урожайности кукурузы в России в 2001—2019 гг.

В других регионах РФ средняя урожайность кукурузы составила 43,4 ц/га.

Средняя урожайность кукурузы в России в 2019 году составила 57,5 ц/га убранный площади, что на 19,5 % (на 9,4 ц/га) больше, чем 2018 году. За 5 лет (к 2014 году), урожайность кукурузы выросла на 31,9 % (на 13,9 ц/га), за 10 лет - на 62,9 % (на 22,2 ц/га).

Анализ среднегодовых показателей за длительный период позволяет в значительной степени исключить влияние природно-климатических факторов и определить вклад использования передовых технологий в изменение урожайности кукурузы в России.

**Таблица 28 - Урожайность кукурузы по
ключевым регионам-производителям (ТОП-20
регионов-производителей) в 2019 году (Экспертно-
аналитический центр агробизнеса)**

№	Регион	Урожайность, ц/га
1	Краснодарский край.	49,7
2	Воронежская область	56,5
3	Курская область	84,4
4	Кабардино-Балкарская Республика	69,4
5	Белгородская область	76,9
6	Ростовская область.	48,7
7	Брянская область	86,1
8	Ставропольский край	42,2
9	Республика Северная Осетия-Алания	74,6
10	Тамбовская область	68,7
11	Орловская область	75,8
12	Саратовская область	42,4
13	Карачаево-Черкесская Республика	58,4
14	Липецкая область	71,7
15	Волгоградская область	46,7
16	Республика Татарстан	44,1
17	Приморский край	52,4
18	Пензенская область	56,4
19	Калининградская область	84,5
20	Республика Мордовия	62,2
В среднем по РФ		57,5

В целях повышения экономической эффективности производства зерна кукурузы в условиях Ульяновской

области, нами проведены исследования, которые позволят получать более высокую урожайность зерна от выбора агротехнических и биологических факторов.

Проведенные экономические расчеты дали возможность выбрать наиболее целесообразную технологию с использованием цеолита, модифицированного аминокислотами и карбамидом, при возделывании кукурузы (таблица 29).

Рассчитанные показатели дали возможность достаточно полно оценить экономическую эффективность цеолита и удобрений на его основе в технологии возделывания кукурузы.

Применение экспериментальных удобрений на основе цеолита способствовало увеличению сбора зерна с одного гектара и, следовательно, получить больше выручки от продажи произведенной продукции. Например, при внесении цеолита в дозе 500 кг/га урожайность кукурузы повысилась на 0,8 т/га. Внесение цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом способствовало увеличению урожайности зерна до 1,09 т/га.

Естественно, прибыль от продажи продукции находилась в прямой зависимости от урожайности и составляла от 48,78 тыс. руб./га на контроле до 80,55 тыс. руб./га на варианте с внесением цеолита, модифицированного аминокислотами, в дозе 500 кг/га на фоне NPK.

Таблица 29 - Экономическая эффективность возделывания кукурузы

Варианты	Урожайность, т/га	Стоимость продукции, с 1 га, руб.	Производственные затраты на 1 га, руб.	Себестоимость 1 т, руб	Условный чистый доход, руб	Уровень рентабельности, %
Контроль	5,42	48780	19521	3602	29259	150
Цеолиг, 250 кг/га	5,57	50130	21094	3805	29036	138
Цеолиг, 500 кг/га	6,22	55980	24070	3870	31910	133
Цеолиг, модифицированный аминокислотами, 250 кг/га	6,29	56610	22362	3555	34248	153
Цеолиг, модифицированный аминокислотами, 500 кг/га	6,48	58320	27966	4318	303548	109
Цеолиг, модифицированный карбамидом, 250 кг/га	6,31	56790	22498	3568	34292	152
Цеолиг, модифицированный карбамидом, 500 кг/га	6,51	58590	26188	4023	32402	124
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	7,63	68670	28745	3767	39925	139
Цеолиг, 250 кг/га + NPK	7,79	70110	31942	4099	38168	120
Цеолиг, 500 кг/га + NPK	8,14	73260	34274	4211	38986	114
Цеолиг, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га + NPK	7,94	71460	32397	4081	39063	121
Цеолиг, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га + NPK	8,95	80550	36295	4055	44255	122
Цеолиг, обогащенный карбамидом, 250 кг/га +NPK	7,82	70380	32767	4153	37613	115
Цеолиг, обогащенный карбамидом, 500 кг/га +NPK	8,76	78840	36468	4163	42372	116

Более высокие производственные затраты на получение продукции установлены на вариантах с внесением цеолита, модифицированного аминокислотами и цеолита, модифицированного карбамидом, в дозах 500 кг/га на фоне NPK, которые составили 36295 — 36468 тыс. руб./га соответственно, наименьшие — на контрольном варианте (19521 руб./га). Данная разница в первую очередь обусловлена достаточно высокой стоимостью удобрений. Однако высокая стоимость произведенной продукции перекрывает денежные дополнительные затраты по приобретению и внесению данных удобрений, что позволяет получить условный чистый доход с 1 га в опытном варианте выше контроля. Внесение цеолита, модифицированного аминокислотами, в дозе 500 кг/га позволило получить наиболее высокий чистый доход - до 44,26 тыс. рублей с одного гектара. Однако себестоимость 1 тонны зерна при внесении данного удобрения была выше, чем на контрольном варианте.

Лучшие показатели рентабельности производства зерна кукурузы установлены при внесении цеолита, модифицированного аминокислотами и карбамидом, в дозах 250 кг/га со значениями 153 и 152 % соответственно.

Оценка технологии возделывания кукурузы с использованием в качестве удобрения цеолита и его модификаций аминокислотами и карбамидом показала:

- на черноземах лесостепи Поволжья средняя урожайность зерна кукурузы составляет не менее 5—6 т/га. Использование в качестве удобрения цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, обеспечило прибавку ее на более 1 тонны на одном гектаре, применение их на фоне минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) — до 3,5 т/га. Соответственно условный

чистый доход (прибыль) повышается от 5 тыс. до 15 тыс. рублей/га;

- экономически более эффективно применение в технологии возделывания кукурузы цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом в дозе 250 кг/га.

4.1.3. Анализ производства и экономической эффективности возделывания проса

Просо – важнейшая крупяная, продовольственная, кормовая и резервно-страховая культура. Помимо скороспелости и засухоустойчивости, оно имеет ряд ценных биологических и хозяйственных особенностей, выделяющих его среди других зерновых культур.

В зерне проса содержится в среднем 13,7, а в пшене 16,0 % от сухого вещества белка, богатого незаменимыми аминокислотами. Из пшеницы готовят большое количество вкусных и питательных блюд. Зерно проса является отличным кормом для птицы, особенно для цыплят. Отходы в виде сечки и мучели, получаемые при переработке проса в пшено, являются хорошим кормом для свиней и птиц в кормовых мешанках, их также включают в состав комбикормов (Турусов В.И. и др., 2019).

Просовая солома по кормовым достоинствам приближается к сене однолетних трав. Из-за небольшой нормы высева на гектар (в 6-8 раз меньше семян, чем других зерновых культур) просо является выгодной страховой культурой для пересева погибших озимых при стихийных бедствиях. Кроме того, оно выгодно для урожая использует июльско-августовские осадки и благодаря позднему посеву и созреванию уменьшает

напряжение в период сева весной и уборки осенью, что позволяет равномерно распределять труд и машинную технику (Никифорова И.Ю., 2015).

Поэтому не случайно, площади его посевов составляли в 1990 году в нашей стране 1936 тыс. га, а в 1991 году достигли максимального уровня 1997 тыс. га. Начиная с 1992 года посевные площади под просом начали стремительно снижаться. Однако в 2019 году произошел значительный рост площадей возделывания проса. По итогам года, по данным Росстата, они составили 392,7 тыс. га, что на 51,2 % (на 132,9 тыс. га) больше, чем в 2018 году. Однако это на 22,3 % (на 113,0 тыс. га) меньше показателей пятилетней давности (2014 года). За 10 лет посевные площади сократились на 24,7 % (на 128,7 тыс. га), к 2001 году - на 67,7 % (на 821,7 тыс. га) (рис.16).

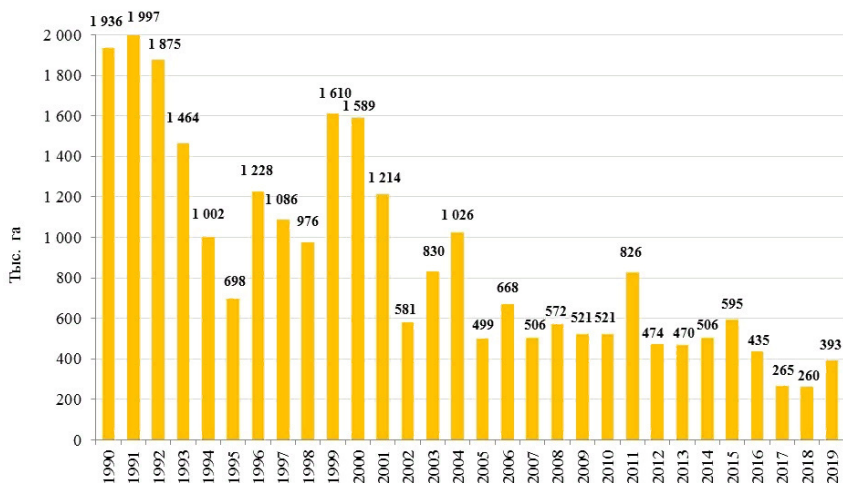


Рисунок 16 - Посевные площади проса в России в хозяйствах всех категорий 1990 — 2019 гг., тыс. га

Кроме того, следует отметить, что в 2019 году, по отношению к 2018 году, произошел рост площадей выращивания проса во всех федеральных округах страны, за исключением Уральского ФО.

Лидером по площади посева остается Приволжский Федеральный Округ, так в 2019 году размеры площадей под просом составили 231,0 тыс. га (58,8 % всех посевов проса в России). Для сравнения в Южном ФО - 103,5 тыс. га (26,4 %), в Сибирском ФО - 28,2 тыс. га (7,2 %), в Центральном ФО - 16,9 тыс. га (4,3 %), в Северо-Кавказском ФО - 12,8 тыс. га (3,3 %), в Уральском ФО - 0,3 тыс. га (0,1 %) (рис 17).

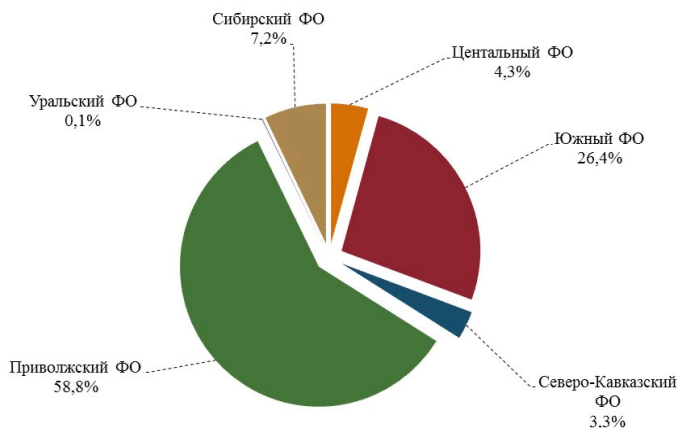


Рисунок 17 - Структура посевных площадей проса по федеральным округам в 2019 году, %

В 2019 году, по данным Росстата, валовые сборы проса составили 439,4 тыс. тонн, что на 102,3 % (на 222,2 тыс. тонн) больше, чем в 2018 году. По отношению к 2014 году (за 5 лет) сборы сократились на 10,8 % (на 53,2 тыс.

тонн). За 10 лет они выросли на 66,2 % (на 175,1 тыс. тонн), к 2001 году - сократились на 20,2 % (на 110,9 тыс. тонн).

Однако по сравнению с 1990 годов объемы производства проса сократились в 4,4 раза, или на 1507 тыс. тонн (рис. 18).

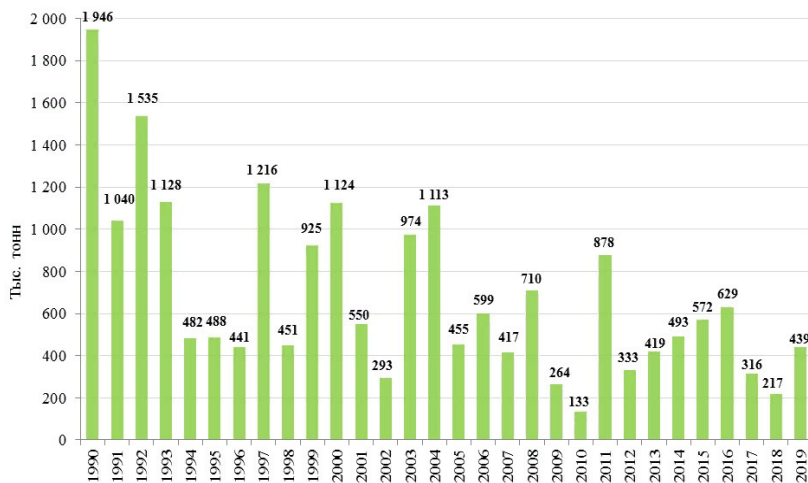


Рисунок 18 - Валовые сборы проса в России в хозяйствах всех категорий тыс. тонн

Рейтинг регионов по валовым сборам проса (ТОП-20) в 2019 году показывает, что Приволжский ФО в 2019 году находился на первом месте по валовым сборам проса - 243,1 тыс. тонн (55,3 % в общих сборах проса в России), в Южном ФО собрали 133,5 тыс. тонн (30,4 %), в Центральном ФО - 27,1 тыс. тонн (6,2 %), в Сибирском ФО - 24,5 тыс. тонн (5,6 %), в Северо-Кавказском ФО - 10,9 тыс. тонн (2,5 %), в Уральском ФО - 0,2 тыс. тонн (0,1 %).

Однако урожайность культуры далека от своих потенциальных возможностей и в среднем колебалась от 1,0 до 2,2 т/га. Урожайность проса в среднем по России в 2019 году составила 12,5 ц/га убранной площади, что на 7,8 % (на 0,9 ц/га) больше, чем годом ранее. За 5 лет урожайность проса выросла на 1,6 % (на 0,2 ц/га), за 10 лет на 25,0 % (на 2,5 ц/га). По отношению к 2001 году, она выросла на 58,2 % (на 4,6 ц/га).

Анализ среднегодовых показателей за длительный период позволяет в значительной степени исключить влияние природно-климатических факторов и определить вклад использования передовых технологий в изменение урожайности проса в России (рис. 19).

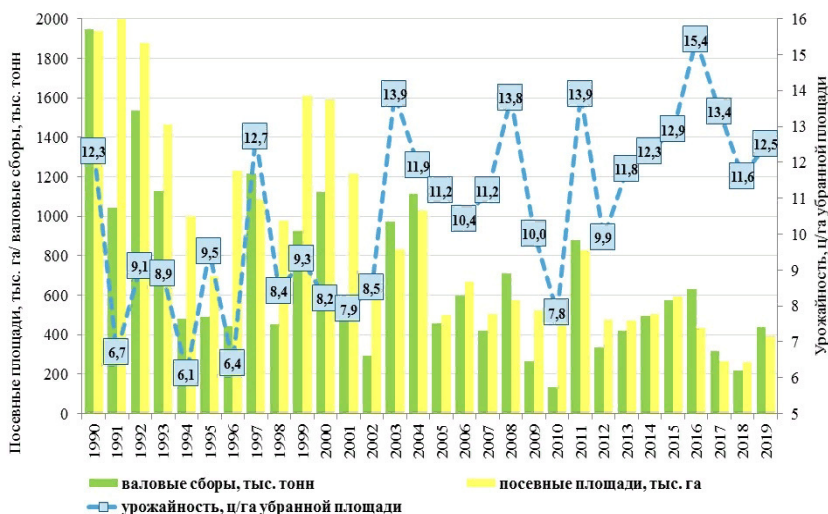


Рисунок 19 - Корреляция показателей валовых сборов, посевных площадей и урожайности проса в России в 1990-2019 гг.

Среднегодовая урожайность проса в России в 1991-2000 гг. составляла 8,5 ц/га, в 2001 более высокие 2010 гг. - возросла до 10,7 ц/га, в 2011 - 2019 гг. - достигла 12,6 ц/га.

Таблица 30 — Урожайность проса по ключевым регионам-производителям (ТОП-20 регионов-производителей) в 2019 году

№ п/п	Регион	Урожайность, ц/га	Сравнение с 2018 годом	
			ц/га	%
1	Саратовская область	12,2	-0,2	- 1,6
2	Ростовская область	14,2	4,3	43,4
3	Волгоградская область	13,1	1,4	12,0
4	Оренбургская область	10,1	3,3	48,5
5	Самарская область	11,1	0,2	1,8
6	Алтайский край	10,6	-2,9	-21,5
7	Воронежская область	17,5	2,5	16,7
8	Ставропольский край	10,1	-3,8	-27,1
9	Республика Башкортостан	13,7	-0,3	- 2,1
10	Пензенская область	15,7	5,1	48,1
11	Ульяновская область	12,3	2,3	12,0
12	Республика Татарстан	19,6	4,1	26,5
13	Чувашская Республика	12,7	- 9,7	43,3
14	Республика Крым .	11,2	4,7	72,3
15	Тамбовская область	22,7	8,4	58,7
16	Краснодарский край	17,8	- 5,2	-22,6
17	Омская область	4,4	- 2,1	-32,3
18	Курская область	21,1	6,5	44,5
19	Иркутская область	11,9	-1,9	-13,8
20	Орловская область	18,5	- 2,2	- 10,6

Данные таблицы 30 показывают, что наиболее высокая урожайность зерна в 22,7 ц/га получена в Тамбовской области. Наименьшая урожайность — 4,4 ц/га в Омской области. (выросла на 58,7 % или на 8,4 ц/га).

В Ульяновской области урожайность проса в 2019 году была на уровне 12,3 ц/га, что значительно ниже потенциальной урожайности современных сортов. Поэтому повышение урожайности проса и получение его продукции высокого качества в условиях снижающегося плодородия почв возможно только на основе применения научно-обоснованной системы удобрения в конкретных почвенно-климатических условиях. При этом особую актуальность приобретает, как было отмечено выше, изучение эффективности применения новых систем удобрения проса.

Стабилизации и повышению экономической эффективности зернового производства способствует дальнейшая его интенсификация, один из главных факторов которой — совершенствование технологии возделывания зерновых культур (Минаков И.А., 2004). Большое значение на эффективность производства зерна оказывает применение интенсивных технологий, дающих огромный эффект. Актуальным направлением повышения продуктивности и устойчивости агрофитоценозов является использование новых удобрений пролонгированного действия на основе цеолита, оказывающие комплексное положительное действие на растения такие, как фиксация атмосферного азота, подавление развития фитопатогенных микроорганизмов, стимуляция роста и развития растений, повышение устойчивости к стрессам.

При экономическом анализе технологии возделывания проса с использованием новых удобрений пролонгированного действия на основе цеолита прямые

затраты устанавливались по ценам, принятым для производственных условий опытного поля ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ (2020 г.). Амортизация и затраты на текущий ремонт тракторов и сельскохозяйственных машин рассчитывали по принятым нормативам. Стоимость основной продукции определялась в соответствии с ценой реализации, которая сложилась в 2020 г. При этом использованы типовые технологические карты по возделыванию проса, которые привязывались к конкретным технологическим приемам полевых опытов.

Основные экономические показатели возделывания проса в зависимости от применения новых удобрений пролонгированного действия на основе цеолита представлены в таблице 31.

Анализ экономической эффективности возделывания проса с использованием экспериментальных удобрений подтвердил установленные закономерности по другим культурам: наиболее высокую рентабельность производства зерна проса показали варианты с применением в качестве удобрения цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом в дозах 250 кг/га с уровнем рентабельности 97 и 84 % (на контроле 78 %). В этом отношении технология возделывания проса с применением только минеральных удобрений несколько уступает (80 %).

Применение обогащенного аминокислотами и карбамидом цеолита обеспечило наиболее низкую себестоимость производства 1 тонны зерна данной культуры — 5584 и 5967 рублей, тогда как на контроле она составляла 6164 рублей/ т. Повышение доз удобрений закономерно приводило к удорожанию производства, что обусловлено с относительно высокими затратами на их покупку и внесение.

Таблица 31 — Экономическая эффективность возделывания проса

Варианты	Уро- жайность, т/га	Стоимость про- дукции, с 1 га, руб.	Производствен- ные затраты на 1 га, руб.	Себестои- мость 1 т, руб.	Условный чистый до- ход, руб.	Уровень рентабель- ности, %
Контроль	2,33	25630	14362	6164	11268,37	78
Цеолит, 250 кг/га	2,55	28050	16108	6317	11941,66	74
Цеолит, 500 кг/га	2,72	29920	18685	6869	11235,25	60
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	3,08	33880	17199	5584	16681,34	97
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	3,17	34870	20618	6504	14252,43	69
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	2,89	31790	17246	5967	14543,53	84
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	3,04	33440	20815	6847	12625,25	61
НРК (N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀)	3,24	35640	19764	6100	15876,34	80

Наиболее высокую прибыль при производстве зерна проса наблюдали на варианте с внесением в почву цеолита, обогащенного аминокислотами, в дозе 250 кг/га, которая составила 16681 рублей с 1 гектара, что больше варианта с применением минеральных удобрений на 805 рублей.

4.2. Энергетическая оценка

Исследования в направлении анализа энергетических потоков в агроценозах получили широкое распространение. Для разработки энергосберегающих технологий необходим соответствующий научный подход, включающий теорию и методологию вопроса, и соответствующий аппарат исследований (Булаткин Г.А., Ларионов В.В., 1997). Это предполагает многостороннюю оценку всех элементов технологий возделывания сельскохозяйственных культур. В связи с этим постоянно разрабатываются и совершенствуются различные методы оценки энергетической эффективности технологических процессов в сельском хозяйстве (Коринец В.В., 1985, 1991; Булаткин Г.А., 1986, 1991), а также методики, основанные на принципах и концепциях энергетики в экосистемах (Одум Г., Одум Э., 1978; Володин В.М., 1992; Сычев В.Г., Цимбалист Н.И., Алиев А.М., 2010).

Суть энергетической оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур сводится к расчету затрат энергии на производство сельскохозяйственной продукции и энергии, накопленной с урожаем. Исходя из соотношения энергии, полученной с урожаем и энергии, затраченной на производство этого урожая, определяют коэффициент энергетической эффективности. Кроме того, ряд авторов считает, что традиционная экономическая оценка эффективности

технологий возделывания сельскохозяйственных культур не всегда объективна и предлагает проводить ее в комплексе с биоэнергетической (Бондаренко В.И. и др., 1986) или заменить ее на эколого-экономическую (Джамаль В.А. и др., 1986).

Одним из важнейших направлений снижения энергопотребления в земледелии являются исследования по изучению рационального регулирования питания растений.

В своей работе при анализе технологий возделывания ячменя мы пользовались методикой, разработанной Е.И. Базаровым и Е.В. Глинкой (1983).

Нами были сделаны допущения, что энергетический эквивалент изучаемых удобрений на основе цеолита приравнивался к энергетическому эквиваленту на местные минеральные удобрения. Кроме того, были учтены энергетические эквиваленты аминокислот и карбамида, входящие в состав изучаемых удобрений.

4.2.1. Анализ энергетической эффективности технологий возделывания рапса

Результаты исследований энергетической эффективности возделывания ярового рапса показывают, что в контрольном варианте отмечаются наименьшие затраты энергии на производство семян культуры по сравнению с другими вариантами. Это связано с отсутствием затрат на минеральные удобрения и цеолит (табл. 32).

Вполне прогнозируемо, что и подтверждается нашими расчетами, наибольшие затраты энергии наблюдаются в вариантах с использованием дозы цеолита

(как в чистом виде, так и обогащенного) в количестве 500 кг/га.

Таблица 32 – Биоэнергетическая оценка технологий возделывания ярового рапса в зависимости от применения цеолита и экспериментальных удобрений на его основе

Варианты	Затраты энергии, ГДж/га	Содержание энергии в урожае, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности
Контроль (без удобрений)	12,63	17,32	1,37
Цеолит, 250 кг/га	15,03	22,50	1,50
Цеолит, 500 кг/га	16,24	23,39	1,44
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	15,43	23,57	1,53
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	17,64	24,10	1,37
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	15,80	24,64	1,56
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	18,65	25,17	1,35
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (NPK)	16,60	25,17	1,52
Цеолит, 250 кг/га + NPK	18,37	25,71	1,40
Цеолит, 500 кг/га + NPK	20,65	27,14	1,31
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га + NPK	18,96	26,42	1,39
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га + NPK	21,35	27,49	1,29
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га + NPK	19,95	26,24	1,32
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га + NPK	23,35	27,67	1,21

Диапазон затрат в этих вариантах варьирует от 16,24 ГДж/га в варианте с цеолитом до 23,35 ГДж/га в варианте с обогащенным карбамидом цеолитом на фоне NPK.

Поэтому, несмотря на то что в этих вариантах получена самая высокая урожайность, энергетический коэффициент в рассматриваемых вариантах определенно ниже, чем при использовании других доз удобрений.

Наиболее энергетически эффективными являются варианты с использованием в качестве удобрения цеолита, обогащенного карбамидом – 250 кг/га, цеолита, обогащенного аминокислотами – 250 кг/га и вариант с $N_{40}P_{40}K_{40}$, в которых получены наибольшие энергетические коэффициенты – 1,56, 1,53 и 1,52 соответственно.

4.2.2 Анализ энергетической эффективности технологий возделывания кукурузы на зерно

Анализ биоэнергетической оценки технологий возделывания кукурузы позволяет сделать заключение, что данная культура позволяет накапливать достаточно большое количество энергии в урожае (табл.33).

Кроме того, кукуруза чрезвычайно отзывчива на систему удобрений: все без исключения варианты опыта являются эффективными, причём, коэффициент биоэнергетической эффективности независимо от варианта не опускается ниже 3,95.

Прибавка урожайности, а следовательно энергетическая эффективность технологий возделывания кукурузы позволяют сделать вывод о достаточно высокой эффективности применения цеолита и экспериментальных удобрений на его основе.

Таблица 33 – Биоэнергетическая оценка технологий возделывания кукурузы в зависимости от применения цеолита и экспериментальных удобрений на его основе

Варианты	Затраты энергии, ГДж/га	Содержание энергии в урожае, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности
Контроль (без удобрений)	18,41	82,04	4,46
Цеолит, 250 кг/га	20,23	84,31	4,17
Цеолит, 500 кг/га	22,27	94,15	4,23
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	20,68	95,21	4,60
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	23,62	98,08	4,15
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	21,17	95,51	4,51
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	24,60	98,54	4,01
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (NPK)	24,98	115,49	4,62
Цеолит, 250 кг/га + NPK	27,34	117,91	4,31
Цеолит, 500 кг/га + NPK	29,89	123,21	4,12
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га + NPK	28,04	120,18	4,29
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га + NPK	31,79	135,47	4,26
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га + NPK	28,92	118,36	4,09
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га + NPK	33,60	132,59	3,95

При анализе энергетической эффективности кукурузы прослеживается аналогичная тенденция в соотношении энергии, полученной с урожаем и затрат энергии на его получение, что и при возделывании рапса.

Прослеживаются следующие закономерности:

- относительно низкий уровень затрат энергии в вариантах без использования минеральных удобрений;

- самая высокая продуктивность в вариантах с использованием больших доз (500 кг/га) цеолита и экспериментальных удобрений на его основе на фоне минерального питания;

- наибольшая энергетическая эффективность в вариантах с использованием цеолита, обогащенного карбамидом и цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га и вариант с NPK.

Таким образом, при возделывании кукурузы на зерно с энергетической точки зрения целесообразно использовать в качестве удобрения цеолит и удобрения на его основе, обогащенные карбамидом и аминокислотами с нормой 250 кг/га.

4.2.3. Анализ энергетической эффективности технологий возделывания проса

Результаты расчетов биоэнергетической эффективности технологий возделывания проса показывают, что в зависимости от системы удобрений, в т.ч. использования цеолита и удобрений на его основе, эффективность возделывания данной культуры различается (табл.34).

Причем более предпочтительными выглядят варианты с цеолитом, обогащенным аминокислотами с

дозой 250 кг/га, эффективность которого на 4-20 % выше остальных вариантов.

В разрезе вариантов достаточно высокие затраты техногенной энергии наблюдаются в вариантах с использованием цеолита и экспериментальных удобрений на его основе в дозе 500 кг/га.

Таблица 34 – Биоэнергетическая оценка технологий возделывания проса в зависимости от применения цеолита и экспериментальных удобрений на его основе

Варианты	Затраты энергии, ГДж/га	Содержание энергии в урожае, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности
Контроль (без удобрений)	14,04	37,67	2,68
Цеолит, 250 кг/га	15,51	41,23	2,66
Цеолит, 500 кг/га	17,07	43,98	2,58
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	15,77	49,80	3,16
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	18,62	51,25	2,75
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	16,06	46,73	2,91
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	19,44	49,15	2,53
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (NPK)	17,24	52,38	3,04

Это объясняется дополнительными энергозатратами на транспортировку и внесение

достаточно большого количества удобрений, а также затратами на уборку дополнительного урожая.

Следовательно, наиболее энергетически эффективным в технологиях возделывания проса является вариант с внесением цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га.

При проведении энергетической оценки технологий возделывания в растениеводстве следует учитывать, что отдельное рассмотрение эффективности каждой из сельскохозяйственных культур не дает общей картины эффективности севооборота.

Прежде всего методы энергетической оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур следует ориентировать с позиций влияния их на почвенное плодородие. В частности, учитывать динамику запасов гумуса и изменение других почвенных свойств и режимов.

В качестве примера можно предположить, что большие дозы цеолита и экспериментальных удобрений на его основе, менее энергетически эффективные в конкретный период времени, окажутся более предпочтительными в длительной перспективе.

Дополнительно следует проводить анализ структуры затрат, который позволяет выявить наиболее энергоемкие операции технологий и долю той или иной категории ресурсов с целью последующей их оптимизации.

Таким образом, оценка биоэнергетической эффективности изучаемых культур в зависимости от применения цеолита и экспериментальных удобрений на его основе позволяет сделать следующие выводы:

- при возделывании ярового рапса наиболее энергетически эффективными являются варианты с использованием в качестве удобрения цеолита,

обогащенного карбамидом – 250 кг/га, цеолита, обогащенного аминокислотами – 250 кг/га и вариант с $N_{40}P_{40}K_{40}$, в которых получены наибольшие энергетические коэффициенты – 1,56, 1,53 и 1,52 соответственно.

- при возделывании кукурузы на зерно с энергетической точки зрения целесообразно использовать в качестве удобрения цеолит и удобрения на его основе, обогащенные карбамидом и аминокислотами с нормой 250 кг/га.

- наиболее энергетически эффективным в технологиях возделывания проса является вариант с внесением цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные тенденции развития сельского хозяйства (повышение цен на минеральные удобрения, необходимость восстановления почвенного плодородия, поиск альтернативы ядохимикатам), обуславливает необходимость создания новых видов удобрений, действующим веществом которых является активный кремний. В ряде научных конференций, проведённых в своё время в США (1999), Японии (2002), России (2004), Бразилии (2005), ЮАР (2008), Китае (2011), Швеции (2014), Индии (2017) и всевозможных публикациях доказано, что кремний является неотъемлемым фактором продуктивности агробиогеоценозов. Последнее предполагает применение кремниевых (силикатных) удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур в условиях дефицита доступного кремния в почвах, что достаточно часто наблюдается в связи с постоянным отчуждением его урожаем. При этом в качестве источника кремния в последнее время активно предлагаются природные кремнийсодержащие породы такие, как диатомиты, цеолиты, трепелы, бентониты и др.

Тем не менее, большинство исследователей приходит к выводу, что биогенность и агрономическую ценность кремнийсодержащего минерального сырья можно и необходимо значительно повысить путём предварительного смешивания его с органическими и минеральными удобрениями, так как состав данных пород по элементам питания не всегда соответствует потребностям возделываемых культур и эффективность их достигается за счёт устранения дефицита доступного кремния и благоприятного воздействия на физико-

химический состав почвы. Последнее, прежде всего, касается азота, которого кремнистые породы не содержат. Проблему можно решить модификацией кремнистых пород внесением в них азота в той или иной форме, или соединений, которые активизировали бы процессы перехода элемента из органической формы в минеральную.

Высококремнистые породы обладают уникальными каталитическими, ионообменными и сорбционными свойствами. В частности цеолиты, представляют из себя водные алюмосиликаты кальция, натрия, калия, бария и некоторых других элементов. Кремнекислородные и алюмокислородные тетраэдры цеолитов, обладающие общими ионами кислорода, слагают трехмерную решетку, образующую каркасную структуру — систему микрополостей, соединенных между собой достаточно широкими каналами. Молекулы воды в каналах координируются с катионами. В каналах находится и цеолитная вода, которую минерал способен отдавать, не изменяя структуры. Благодаря системе каналов и полостей, которые пронизывают кристаллы, цеолит обладает хорошо развитой внутренней поверхностью, доступной для адсорбируемых молекул.

Каркасы цеолитов похожи на пчелиные соты и образованы из цепочек анионитов кремния и алюминия. Из-за своего строения каркас имеет отрицательный заряд и этот заряд компенсируется катионами щелочных или щелочноземельных металлов, находящихся в полостях-сотах. Тип цеолита определяется соотношением кремния и алюминия и видом катионов.

Цеолиты способны оказывать положительное влияние на физико-химические и агрохимические свойства почвы, оптимизируя их структурное состояние и кислотно-основной режим, а также фосфорное и кремниевое питание

культурных растений, что в итоге продуктивно сказывается на их урожайности и качестве получаемой продукции. Кроме того, ряд таких материалов способен проявлять сорбционные свойства в отношении многих токсикантов (тяжелые металлы, остаточные количества пестицидов и др.), тем самым способствуя получению экологически безопасной продукции растениеводства. Что касается цеолитов, они в полной мере обладают соответствующими свойствами. Более того, проблема использования цеолитсодержащего минерального сырья имеет общемировое значение, поскольку они относятся к одной из групп биологически активного и экологически безопасного сырья, широко распространенного в природе.

Почти 20-летние исследования, проведенные в Ульяновском ГАУ имени П.А. Столыпина, показали, что кремнистые породы (диатомиты, цеолиты), являясь сорбентами с высокими сорбционными, каталитическими и ионообменными свойствами, оказывают длительное положительное действие на систему «почва-растение» и способствуют получению экологически более безопасной продукции высокого качества всех экспериментальных культур как зерновых, овощных, так и пропашных. Совместное их применение с органическими (птичьим пометом, соломой), минеральными (мочевинной, суперфосфатом, хлористым калием) и органоминеральными (осадками сточных вод) удобрениями значительно повышало эффективность высококремнистых пород. Последнее является теоретической основой для создания новых видов биомодифицированных удобрений, более эффективных и – что очень важно – более экономичных. Исследования, проведенные нами в 2016 – 2018 гг., показали перспективность производства удобрений на основе

кремнистых пород. Так, урожайность зерна кукурузы при применении цеолита дозой 500 кг/га составила 6,94 т/га, совмещении его с азотом в дозе 60 кг д.в./га 8,03 т/га, тогда как на фоне полного минерального удобрения ($N_{60}P_{60}K_{60}$) – 7,82 т/га.

Изучение и анализ имеющейся научной литературы и собственные длительные исследования по изучению возможности использования кремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур позволило нам совместно с научно-производственным комплексом «ИнБиоТех» (генеральный директор А.И. Уханов, главный технолог Е.В. Панкратова) разработать состав и технологию производства уникального продукта на основе цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области обогащением его аминокислотами низкого молекулярного веса. Технология производства позволяет внедрить в цеолит любые элементы и соединения, имеющие размеры менее размеров пор цеолита и создавать удобрения в максимальной степени отвечающие требованиям отдельных или групп культур, обеспечивающих адресное питание растений. По этой же технологии было создано удобрение внедрением в цеолит карбамида.

Проведенные в 2020 году испытания экспериментальных удобрений показали их высокую эффективность при возделывании рапса, кукурузы, проса.

Установлено положительное влияние цеолита и обогащенных аминокислотами и карбамидом экспериментальных удобрений на агрофизические, биологические и агрохимические свойства черноземов (типичного и выщелоченного). Так, агрофизические показатели чернозема выщелоченного при возделывании кукурузы приобрели оптимальные для данной культуры значения: количество агрономически ценных агрегатов

(0,25 – 10 мм) увеличилось на 5,6 – 18,5 % (абсолютные значения), водопрочных – на 2,0 – 5,9 %, коэффициент структурности повысился от 1,25 на контроле до 1,62 и 2,52 единиц. Плотность почвы составила 1,12 – 1,14 г/см³.

Высококремнистые породы (в данном случае цеолит) в значительной степени способствуют повышению водоудерживающей способности почвы, экономному и рациональному расходованию продуктивной влаги в течение вегетации сельскохозяйственных культур. Уже в начале вегетации кукурузы при внесении цеолита в чистом виде запасы доступной влаги в пахотном слое увеличились на 4–10 мм, в метровом – на 10–13 мм; при внесении цеолита, обогащенного аминокислотами соответственно на 6–8 и 8–16 мм. Результаты изучения водного режима чернозема выщелоченного при возделывании проса, рапса были аналогичны: преимущество при применении экспериментальных удобрений составляло 4 – 11 в пахотном и 14 – 16 мм – метровом слое.

Улучшение физических и водно-физических свойств почвы сопровождалось усилением деятельности почвенных микроорганизмов и, в целом, биологической активности почвы. Очень значительное усиление деятельности почвенных микроорганизмов при внесении цеолита в почву происходило под посевами проса. На 19,3 и 17,8 % повысилась биологическая активность почвы при использовании в качестве удобрения обогащенного аминокислотами и карбамидом цеолита. Усиление активности почвенных микроорганизмов сопровождалось оптимизацией питательного режима почв.

Положительное влияние цеолита, в том числе (больше всего) обогащенного аминокислотами и карбамидом на питательный режим почвы наблюдали при возделывании всех культур. Под посевами кукурузы

содержание минеральных форм азота ($N-NO_3+N-NH_4$) в пахотном слое чернозема выщелоченного повысилось на 0,4 – 1,8 мг/кг, доступных соединений фосфора на 3 – 10 мг/кг, обменного калия на 5– 10 мг/кг (доза цеолита 250 и 500 кг/га); под посевами рапса доступных фосфора и калия на 20– 40 мг/кг (доза цеолита 500 кг/га); под посевами проса (доза 500 кг/га, чернозём типичный) минерального азота на 0,6 – 6,5 мг/кг, подвижных фосфора и калия на 5– 16 мг/кг и 6,6–10,3 мг/кг соответственно. Следует отметить, что цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области с содержанием кальция и магния 17 % обладает несомненной способностью нейтрализовать кислотность почвы: в почве под посевами кукурузы (чернозем выщелоченный с pH_{KCl} 5,4) она снизилась на 0,35–0,46 единиц, рапса (чернозём выщелоченный pH_{KCl} - 5,10) на 0,11 - 0,25 единиц.

Улучшение физических, химических и биологических свойств почв непосредственно повлияло на продуктивность культур. Наиболее высокая урожайность зерна сформировалась на варианте с внесением в почву обогащенного аминокислотами цеолита в дозе 500 кг/га на фоне минеральных удобрений. Превышение контроля составило: кукурузы на 3,53 т/га (65 %), проса – 0,84 т/га (36 %), рапса на 0,57 т/га (59 %). При этом улучшалось качество продукции. В том числе повысилась её экологическая безопасность. Так, накопление в продукции всех культур при применении цеолита и его модификаций в дозе 500 кг/га количество наиболее опасных элементов кадмия и свинца снизилось в 2 и более раз.

Применение цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, в дозе 250 кг/га в качестве удобрений сельскохозяйственных культур наиболее экономически целесообразно. При возделывании рапса

уровень рентабельности производства семян с использованием в системе удобрения цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га составлял 100 %, обогащенного карбамидом — 107 %, тогда как на контроле 89 %; проса соответственно — 97 и 84 % (на контроле 78 %), кукурузы 153 и 152 %.

Оценка энергетической эффективности технологий возделывания ярового рапса, кукурузы и проса в зависимости от применения цеолита и экспериментальных удобрений на его основе показала, что наиболее энергетически также эффективно использование в качестве удобрения цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, в дозе 250 кг/га .

В связи с вышеизложенным следует признать, что удобрения на основе цеолита, полученные обогащением его аминокислотами и карбамидом, являются уникальным средством для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и получения экологически безопасной качественной продукции, которое позволяет поднять современное земледелие на качественно новый уровень.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айлер Р.К. Химия кремнезема. М.: Мир, 1982. В 2-х ч. Ч. 1, Ч. 2. 1128 с.
2. Айлер Р.К. Коллоидная химия кремнезема и силикатов. М.: Госстройиздат, 1959. 288 с.
3. Акентьева М.В. Кремнефосфорные удобрения и их роль в питании растений в каштановых почвах при орошении. Автореф. дис. канд. с.-х. наук. Саратов, СХИ, 1952. 25 с.
4. Алешин Н.Е. Содержание кремния в РНК риса // Докл. ВАСНИЛ. 1982. №6. С. 6–7.
5. Алешин Н.Е., Авакян Э.Р., Лебедев Е.В. Стабилизация митохондрий риса кремнием // Докл. ВАСХНИЛ, 1990 №2. С. 12–13.
6. Аммосова Я.М., Балабко П.Н., Матыченков В.В. , Аветян Н.А. Кремнезем в системе почва – растение // Агрохимия. 1990. № 10. С. 103–108.
7. Аммосова Я.М., Дьяков В.М., Матыченков В.В., Чернышев Е.А. Использование соединений кремния в сельском хозяйстве. М.: издательство Мин. хим. Пром., 1990. Вып. 7 (98). 32 с.
8. Андроникашвили Т.Г., Урушадзе Т.Ф. Применение цеолитсодержащих горных пород в растениеводстве // Агрохимия. 2008. № 12. С. 63–79.
9. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.
10. Аскинази Д.Л. Фосфатный режим почвы и известкование почв с кислой реакцией. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 216 с.
11. Базаров Е.И. Эффективность использования совокупной энергии в сельском хозяйстве // Экономика сельского хозяйства, 1983. №12. С. 32–37.

12. Базаров Е.И., Глинка Е.В. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства. М, 1983. 31 с.

13. Башмаков Д.И., Лукаткин А.С. Эколого–физиологические аспекты аккумуляции и распределение тяжелых металлов у высших растений. Саранск: Изд–во Мордовского университета, 2009. 236 с.

14. Безуглова О.С., Орлов Д.С. Биогеохимия / Ростов н/Д: «Феникс», 2000. 320 с.

15. Битюцкий Н.П., Якконен К.П., Злотина М.М. Влияние кремния на проявление хлороза растений в условиях дефицита железа и марганца // Агрохимия. 2010. №2. С. 45–51.

16. Бондаренко В.И. и др. Биоэнергетическая и экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы // Земледелие, 1986. №2. С. 25–26.

17. Борисов Д. Е. Причины и закономерности техногенного загрязнения тяжелыми металлами системы «почва–растение» в условиях лесостепной зоны: автореф. дисс. канд. с.–х. наук. Омск, 2000. 16 с.

18. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения // Агрохимия, 2011. № 7. С. 84–96.

19. Бочарникова Е.А., Пахненко Е.П., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Влияние оптимизации кремниевого питания на устойчивость ДНК ячменя // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 2014. № 2. С. 40–43.

20. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир, 1976. 781 с.

21. Булаткин Г.А. Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1986. 209 с.

22. Булаткин Г.А. Энергетические проблемы сохранения плодородия пахотных почв // Вестник с.-х. науки, 1991. С. 60–66.

23. Буров Д.И. Научные основы обработки почв Заволжья. Куйбышев, 1970. 294 с.

24. Вагин, А.В. Технология для рапса // Сельскохозяйственные вести, 2017. №1 (108). С.10.

25. Варшалл Г.М., Драчева Л.В., Замокина Н.С. О формах кремнекислоты и методах их определения в природных водах // Химический анализ морских осадков. М., Наука, 1980. С. 156–188.

26. Вернадский В.И. Биосфера (Избранные труды по биогеохимии). М.: Мысль, 1967. 374 с.

27. Верниченко, И.В., Осинцева Л.В., Яковлев П.А., Бытовская П.А., Литвинский В.А. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы и тритикале соединениями селена, кремния и цинка на поглощение растениями мочевиной N^{15} нитратного азота в стрессовых условиях выращивания // Агрохимия, 2017. № 3. С. 10-19.

28. Водяницкий Ю.Н. Дефицит кремния в некоторых почвах и пути его устранения // Агрохимия, 1984. №8. С. 127–132.

29. Володин В.М.. Агробιοэнергетика – новое научное направление // Земледелие, 1992. №11,12. С. 2-5.

30. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я. Кремний и жизнь. Рига: Зинатне, 1978. 578 с.

31. Воронков М.Г., Барышок В.П. Атрановое поколение биологически активных веществ // Вестник РАН. Т. 80, 2010. №4. С. 985–992.

32. Воронков М.Г., Кузнецов И.Г. Удивительный элемент жизни. Иркутск: Выш. Сиб. Изд-во, 1983. 256 с.

33. Гарбуз С.Н., Ярославцева Н.В., Холодов В.А. Ферментативная активность внутри и снаружи водоустойчивых агрегатов в почвах разного вида использование // Почвоведение, 2016. № 3. С. 398-407.

34. Гедройц К.К. Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. М.: Сельхозгиз, 1955. Т. /. 560 с.

35. Гладкова К.Ф. Роль кремния в фосфорном питании растений // Агрохимия, 1982. №3. С. 33–140.

36. Джамаль В.А., Медведев Н.В., Дмитренко В.Л. Эколого-экономическая оценка противоэрозионных способов обработки почвы // Земледелие, 1986. №2. С. 53-54.

37. Дистанов У.Г., Конюхова Т.П. Природные сорбенты и охрана окружающей среды // Химизация с.–х., 1990. №9. С. 34–35.

38. Добровольская Т.Г. и др. Оценка бактериального разнообразия почв: Эволюция подходов и методов // Почвоведение, 2009. №10. С. 1222–1232.

39. Дронина О.С. Эффективность предпосевной обработки семян сахарной свеклы биопрепаратами и диатомитовым порошком в условиях Среднего Поволжья. Дисс. на соискание ученой степени канд. с.–х. наук. Ульяновск, 2009. 137 с.

40. Дьяконова О.В. Тяжелые металлы и минеральные формы азота в системе «почва–растение»: дисс. на соискание ученой степени канд. с.–х. наук. Барнаул, 2005. 128 с.

41. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология. М.: Изд-во Юрайт, 2016. 445 с.

42. Ермолаев А.Л. Применение цеолитов в сельском хозяйстве // *Агрохимия*, 1987. №5. С. 39–43.

43. Ермолаев С.А., Шильников И.А., Аканова Н.И. Эффективность применения силикатных форм химических мелиорантов // *Плодородие*, 2004. № 2. С. 13–16.

44. Жежер А.Я., Лобода Б.П., Жежер Л.В. Цеолиты в растениеводстве и земледелии: Метод рук-во по изучению природных цеолитов в растениеводстве и земледелии / СО РАСХН. Краснообск, 1993. 40 с.

45. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.

46. Зейслер Н.А. Влияние силатранов на прорастание семян хлебных злаков // *Интеллект. потенциал. XXI: ступени познания*, 2016. №31. С. 6–10.

47. Иванов А.Л. Изучение влияние совместного внесения фосфорных и кремнийсодержащих удобрений на фосфатный режим основных типов почв Казахстана // *Агрохимия*, 1952. №5. С. 25–30.

48. Капранов В.Н. Влияние диатомита и минеральных удобрений на фенотипические признаки растений // *Агрохимия*, 2009. №1. С. 34–43.

49. Капранов В.Н. Влияние кремния на структуру, прочность и урожайность озимой тритикале // *Агрохимический вестник*, 2008. №2. С. 32–34.

50. Капранов В.Н. Диатомит как кремнийсодержащее удобрение // *Плодородие*, 2006. №4. С. 12–13.

51. Капранов В.Н. Использование природных агрохимических средств в качестве источников минерального питания полевых культур: автореф. дисс. ... докт. с.–х. наук: 06.01.04. Москва, 2009. 43 с.

52. Кемечева М.Х. Влияние кремниевых удобрений на качество зерна риса // *Вестник Майкопского*

государственного технического университета, 2011. №4. С. 54–58.

53. Кинтаналья М.Г.Ф. Влияние разового внесения кремнийсодержащего шлама на свойства темно–каштановых почв под рисом на юге Украины // Автореф. канд. дисс. с.–х. наук М.: Университет Дружбы Народов, 1987. 17 с.

54. Ковальский А.Л. Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука, 1991. 294 с.

55. Козлов А.В., Куликова А.Х., Яшин Е.А. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах // Вестник Мининского университета, 2015. № 2 (10). С. 23.

56. Козлов А.В., Куликова А.Х. Влияние высококремнистых пород на структуру, численность и ферментативную активность целлюлозосапротрофного микробного пула дерново–подзолистой почвы в условиях выращивания озимой пшеницы и картофеля // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. № 1 (33). С. 56–65.

57. Козлов А.В., Куликова А.Х., Румянцев Р.И. Стабилизация почвенно–поглощающего комплекса дерново–подзолистой почвы под действием цеолитовой породы Экологический вестник Северного Кавказа, 2020. Т. 16. № 1. С. 15–20.

58. Козлов Ю.В. Эффективность соединений кремния при возделывании зерновых культур в условиях Смоленской области: автореф. дисс. ...канд. биол. наук: 06.01.04. Москва, 2010. 18 с.

59. Колесников М.П. Формы кремния в растениях // Успехи биологической химии, 2001. Т. 41. С. 301–322.

60. Коринец В.В. Системно–энергетический подход к изучению агроценоза. Волгоград, 1985. 15 с.

61. Коринец В.В. Системно-энергетический подход к теоретическим основам севооборотов // Вестник с.-х. науки, 1991. №6. С. 86-90.

62. Кравченко А.Л. Экологическая оценка влияния фитотоксичности почвы на развитие растений: дисс. на соискание ученой степени канд. биол. наук. М., 2016. 115 с.

63. Крутилина В.С., Панов Н.П., Родионова Л.П., Байкалова Ю.С. Экологическая оценка использования природных цеолитов при химической мелиорации солонцовых почв // Аграрная наука, 2001. №2. С. 10–11.

64. Кудинова Л.И. Влияние кремния на вес растений ячменя // Агрохимия, 1974. №1. С. 142–144.

65. Кузнецова И.В., Бондарев А.Г., Данилова В.И. Устойчивость структурного состояния и сложения почв при уплотнении // Почвоведение, 2000. №9. С. 1106–1113.

66. Куликова А.Х. Воспроизводство биогенных ресурсов в агроэкосистемах и регулирование плодородия чернозема лесостепи Поволжья // Диссертация доктора с.- х. наук, 1997. 362 с.

67. Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур: монография. Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. 176 с.

68. Куликова А.Х., Яшин Е.А., Данилова Е.В., Юдина И.А., Дронина О.С., Никифорова С.А. Влияние диатомита и минеральных удобрений на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Агрохимия, 2007. №6. С. 27–31.

69. Кцоев Б.К., Ермолаев А.А. Кремний и урожай. Орджоникидзе: Ир, 1990. 142 с.

70. Либих Ю. Химия в приложении к земледелию. Спб., 1864. 324 с.

71. Лобода Б.П. Применение цеолитсодержащего минерального сырья в растениеводстве // Агрохимия. 2000. № 6. С. 78–91.

72. Лобода Б.П., Ходырев В.М. Цеолит–кремнийсодержащие трепела – улучшающий компонент тепличных субстратов // Гавриш, 2006. №3. С. 22–23.

73. Лобода Б.П., Ходырев В.М., Гористова И.А. Орловский цеолит – перспективный компонент тепличных субстратов для малообъемного выращивания огурца // Гавриш, 2002. №2. С. 12–13.

74. Лобода Б.П., Яковлева Н.Н. Диатомиты и трепелы как почвоулучшители и источники биогенных элементов // Плодороди, 2003. №5. С. 11–14.

75. Лукин С.В., Кононенко Л.А., Мирошникова Ю.В. Влияние кадмия на развитие фотосинтетического аппарата и урожайность яровой пшеницы // Агрохимия, 2004. №3. С. 63–68.

76. Матаруева И.А. Микробиологические закономерности формирования гумусовых запасов дерново–подзолистых почв. – Кострома: КГСХА, 2005. 190 с.

77. Матыченков В.В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния // Агрохимия, 2007. №7. С. 22–27.

78. Матыченков В.В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния // Агрохимия, 2007. №7. С. 20–27.

79. Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: дисс. ... докт. биол. Наук: 03.00.12, 03.00.27. Пушино, 2008. 313 с.

80. Матыченков В.В., Бочарников Е.А., Аммосова Я.М. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву // Агрохимия, 2002. № 2. С. 86–93.

81. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А. Использование некоторых отходов металлургической промышленности для улучшения фосфорного питания и повышения засухоустойчивости растений // Агрохимия, 2003. №5. С. 50–56.

82. Матыченков В.В., Дьяков В.М., Бочарникова Е.А. Комплексное кремний–фосфатное удобрение. Патент. №97121543, 1997. Россия.

83. Матыченков И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва – растение / Диссертация на соискание уч. степени канд. биол. наук. М., 2014. 136 с.

84. Медведева Ю.Д., Медведев В.О. Кремнийбиоорганические соединения и области их применения // Совр. научн. исследования и разработки, 2017. №7 (51). С. 233–238.

85. Минаков, И.А. Экономика сельского хозяйства. - 3-е изд., перераб. и доп. М: Инфра-м, 2014. 352 с.

86. Мироненко А.В., Домаш В.Н., Рагульченко И.В. Белки культурных и дикорастущих кормовых растений АН БССР, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. - Минск : Навука и тэхника, 1990. - 198.

87. Мустафаев Ю.Х. Эффективность минеральных удобрений на фоне цеолита под озимым ячменем на эродированных горных серо–коричневых почвах юго–восточного склона Большого Кавказа. Автореферат. Дисс., АН Аз.ССР, Баку, 1990. 23 с.

88. Никифорова И.Ю. Оценка адаптивного потенциала образцов проса посевного различных групп спелости по статистическим параметрам, рассчитанным по признаку «урожайность зерна» // Научно – производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры», №1(13). 2015 С. 79-83.

89. Никифорова С.А. Эффективность предпосевной обработки семян ячменя биопрепаратами и диатомитовым порошком в условиях Среднего Поволжья. Дисс. На соискание ученой степени канд. с.–х. наук. Ульяновск, 2009. 178 с.

90. Нуриев С.Ш., Ишкаев Т.Х., Шакиров Р.С. и др. Об использовании местных цеолитсодержащих пород в земледелии Республики Татарстан // Эколого–агрохимические, технологические аспекты развития земледелия Среднего Поволжья и Урала: Тез. докл. конференции, посвященной 75–летию кафедры агрохимии и почвоведения Казанской государственной сельскохозяйственной академии, 1995. С. 145–146.

91. Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы. М.: Прогресс, 1978. С. 119–379.

92. Оллиер К. Выветривание. М.: Недра, 1990. 348 с.

93. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд–во МГУ, 1992. – 400 с.

94. Панов Н.П., Крутилина В.С., Родионова Л.П., Байкалова Ю.С. Сохранение экологического равновесия агроландшафтов с помощью природных цеолитов (итоги 10 лет работы лаборатории агрономического почвоведения и перспективы использования природных цеолитов для оптимизации питательного режима и экологического состояния почв). М.: Изд-во Тим. С-х. Академии им. Прянишникова, 2001.

95. Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные удобрения. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. 312 с.

96. Пашкевич Е.Б., Кирюшин Е.П. Роль кремния в питании растений и в защите сельскохозяйственных культур от фитопатогенов // Проблемы агрохимии и экологии, 2008. № 2. С. 52–57.

97. Польшов Б.Б. Геологические и биохимические циклы в почвообразовании. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 751 с.

98. Роде А.А., Смирнов В.Н. Почвоведение. М.: Высшая школа, 1972. 480 с.

99. Рохов Е.Д. Мир кремния. М.: Химия, 1990. 228 с.

100. Рочев В.А., Швейкина Р.В., Барсукова Г.А., Панова Н.Н. Влияние кремнегеля на агрохимические свойства почвы и урожай сельскохозяйственных культур. Труды Свердлов. СХИ, 1980. Т. 60. С. 61–68.

101. Самсонова Н.Е. Кремний в почвах и растениях // Агрохимия, 2005. № 6. С. 76–86.

102. Самсонова Н.Е. Кремний в растительных и животных организмах // Агрохимия, 2019. № 1. С. 86–96.

103. Самсонова Н.Е. Научное обоснование эффективности фосфорных удобрений пониженной растворимости кремнийсодержащих удобрений на почвах Центрального нечерноземья: автореф.... д-ра с.-х. наук: М., 2001. 45 с.

104. Сафронов Г.В. Эффективность цеолитов в народном хозяйстве: Докл. респ. Кокф. М., 1989. С. 3.

105. Семенова И.Н., Ильбулова Г.Р., Зулкарнаев А.Б., Сюндуков Я.Т. Влияние цеолитов на ферментативную активность чернозема обыкновенного при загрязнении свинцом // Вестник ОГУ, 2011. №12. С. 427429.

106. Слостя И.В. Влияние обработки соединениями кремния семян и вегетирующих растений на продуктивность сортов ярового ячменя // Агрохимия, 2012. № 10. С. 51–59.

107. Соколов О.А., Черников В.А. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Пушкино, 1999. 163 с.

108. Стулин, А.Ф. Продуктивность кукурузы в условиях длительного применения различных агротехнических приемов и плодородие выщелоченного чернозема / Кукуруза и сорго, 2020 №1 С. 17-27.

109. Сычёв В.Г. Цимбалист Н.И., Алиев А.М. Методология энергетической оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур // Труды международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», М. 2010. С. 139–144.

110. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение, 2011. №2. С. 190–198.

111. Тимонов В.Ю., Чернышева Н.М., Балабанов С.С., Картамышев Н.Н. Механическая обработка и агрофизические свойства почвы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2009. №6. С. 53–57.

112. Турусов, В.И., Новичихин А.М., Сурков А.Ю., Суркова И.В. Технология возделывания проса в Воронежской области / Каменная Степь, 2019. – 26 с.

113. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение. Казань, Издательство «ФЭН», 2001. 176 с.

114. Цхакая Н.Л., Квашам Н.Ф. Японский опыт по использованию природных цеолитов. Тбилиси, 1985. С. 25–30.

115. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. 1028 с.

116. Шеуджен А.Х., Кемечева М.Х. Распространение кремния в природе и его значение в жизни растений // Вестник МГТИ, 2003. Вып. 1. С. 125–135.

117. Экологическая оценка влияния диатомита на фитоценоз и состояние почвенно-биотического комплекса

светло-серой лесной легкосуглинистой почвы: автореф. дисс. канд. биол. наук. Москва, 2013. 24 с.

118. Экспертно-аналитический центр агробизнеса. Режим доступа: <https://ab-centre.ru/>

119. Agaris S., Agata W., Kubota F., Kaufman P.B. Physiological roles of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice plants // Japan J. Crop Sci., 1992. V 61. P. 200–206.

120. Ande B., Ande, P. Bocharnikova E.A., Calvert D.V., Matichenkov V.V. Effect of Si-rich slag and lime on P leaching in sandy soil // Journal American Society of Sugar Cane Technologists, 2002. V. 22. P. 9–15.

121. Artyszak A. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality – a literature review in Europe // Plants, 2018. Vol. 7 (54). P. 1–17.

122. Aston M.T., Jones M.M. A study of the transpiration surfaces of *Avena sterilis* L. var. Algerian leaves using monosilicic acid as a tracer for water movement // Peanta, 1976. 130. № 2. P.121–129.

123. Belanger R.R. The role silicon in plant-pathogen interaction: toward universal model // III Silicon in Agriculture Conference. Uberlandia: Universidade Federal de Uberlandia, 2005. P. 34–40.

124. Bichter W., Suntheim L. Significance of silicon in plant nutrition // Archiv fur Ackerund Pflanz und Boden, 1986. V.30. №12. P. 737–744.

125. Bocharnikova E.A., Matichenkov V.V. Silicon soil state and biogeochemical balance in forest and grass ecosystems // Sustainable Development: the View from the Less Industrialized Countries. San Jose. Costa Rica: UNED, 1994. P. 453–466.

126. Cornelis I.T., Devlaux B., Georg R.B., Lucas I., Orfergelts S. Tracing the origin of dissolved silicon transferred

from various soil-plant systems rivers: a review // Biogeochemistry, 2011. V. 8 (1). P. 89–112.

127. Datnoff E.L., Tubona S.B. Why is silicon still not used routinely for managing plant health and enhancing plant growth under greenhouse and field conditions? // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. India, 2017. P. 150.

128. Davy H. Elements of Agricultural Chemistry. London, 1813. 324 p.

129. DeDatta S.K. Principles and practices of rice production. N.Y. John Wiley & Sons, 1981. 618 p.

130. Dietzel M. Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid // Geochim. Cosmochim. Acta, 2000. V. 64 (19). P. 3275–3281.

131. Dupius T., Tamby P., Dupius T. Etude expérimentale de l'action des acides fulviques sur les gels silico-magnésiens et des silicates magnésiens // Bull. Assoc. Fr. Etude Sol., 1982. №4. P. 241–252.

132. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants // Annals of Applied Biology, 2009. Vol. 155. P. 155–160.

133. Fawe A., Abou-Zaid M., Menzies I., Belanger R. Silicon-mediated // Phytopathology, 1998. №88. P. 396–401.

134. Furman V.C., Ressel I.D., Smith B.F. Extraction of inorganic forms of translocated Al, Fe, and Si from a podsol B_s horizon // Soil Sci., 1983. V. 34. P. 571–576.

135. Gong H.J., K.M. Chen, Z.G. Zhao, G.C. Chen, W.J. Zhou. Effect of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different development stages // Biologia Plantarum, 2008. Vol. 52 (3). P. 592–596.

136. Guo X.H., Guo Z.G. Liu H.X., Zhou X.R. Benefits of Silicon nutrition on plants and its enlightenment to turf grass research // Pratacultural Science, 2010. №3.

137. Hall A.D., Morrison C.G.T. On the function of silica in the nutrition of cereals // Proc. of the Royal Soc. of London, 1906. Ser. B.V. Lxxvii. P. 455–477.

138. Heather A.C., Carole C.P. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies // Annals of Botany, 2007. Vol. 100 (7). P. 1383–1389. Doi: 10.1093/aob/mcm247

139. Iler R.K. The Chemistry of Silica // N.Y.: Wiley, 1979. 896 p.

140. Ismunadji M. Utilization of cereal crop residues and its agricultural significance in Indonesia // Contz. Centr. Res. Inst. Agric, 1978. V. 37. P. 1–14.

141. Jones L., Handreck K. Silica in Soil, plants and animals // Adv. Agron., 1967. №19. P. 107–149.

142. Khalid R.A., Silva L.A. Residual effects of calcium Silicate in tropical Soils: // Biological extraction of residual Soil silicon // Soil Sci Am. I., 1978. V. 42. #1. P. 94–97.

143. Ma I.F., Takahashi E. Soil, Fertilizer, and Plant silicon Research in Japan. Netherlands: Elsevier, 2002. 281 p.

144. Ma J. Silicon transporters in higher plants // MIPs and Their Role in the Exchange of Metalloids. Advances in Experimental Medicine and Biology, 2010. Vol. 679. P. 99–109.

145. Ma J.F., Takahashi E. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. Netherlands: Elsevier, 2002. 281 p.

146. Ma J.F., Yamaji N. Silicon uptake and accumulation in higher plants // Trends in Plant Science, 2006. Vol. 11 (8). P. 392–397.

147. Matichenkov V., Bocharnikova E. New technology for rehabilitation of salt-affected areas and increasing drought and salt plant tolerance // Proc. 13th Int. soil conservation org. conf. (SISCO2004). 4–9 July 2004 in Brisbane, Australia. p.249–257.

148. Matichenkov V.V., Bocharnikova E.A. Si in horticultrual industry // Plant Mineral Nutrition and Pesticide management, 2004. V. 2. P. 217–228.

149. Matichenkov V.V., Culvert D., Shyder G.H., Bocharnikova E.A. Effect of Si fertilization on growth and P nutrition of Bahiagrass // Proc. Crop. Sci. Florida, 2001. V. 60. P. 30–36.

150. Neumann D. Silicon in plants // Silicon Biomineralization. Progress in Molecular and Subcellular Biology. Ed. Muller W.E.G., 2003. V. 3. P. 149–160.

151. Neumann D., Nieden U. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants // Phytochemistry, 2001. Vol. 56. P. 685–692.

152. Norton L.D. Mineralogy of high calcium / Sulfur containing code combustion by – products and their effect on soil surface sealing // Agriculture utilization of urban and Industrial by – products; Proced. Sump. sponsored by Division S–6 and 5–7 of tho Science Soc. Am. and A–S of the AM. Soc. Agron. in Cincinnati Ohio, 7–12 Nov. 1993. ASA SpecialPublication Number 58, 1995/ P. 87–106.

153. Read D.W.,etal. Residual value presphorus fertilizer of chenzemic soil // Canad. T. Soil Sci., 1973. V. 53, №4. P. 398.

154. Resichert, L.M. Sealing, amendment, and rain intensity effects of erosion of high-clay solies / L.M. Resichert, L.D Norton, Huang Chi-hua // Soil Sci. Soc. Am. 1, 1994. P. 1199-1205.

155. Rothamsted Experimental Station Guide to the Classical Field Experiment. Nozfolk: Lawes Agricultural Trust, 1991. 31 p.

156. Savant N.K., Korndorfer G.N., Datnoff L.E., Snyder G.H. Silicon nutrition and sugarcane production: areview // I. Plant Nutz, 1999. V. 22. №12. P. 1853–1903.

157. Sawants A.S., Patit V.H., Savant N.K. Pice hull ash applied to seedbed reduces deadhearts in transported rice // Inter. Rice Res. Notes, 1994. V. 19. P. 20–21.

158. Sun W., Zhang I., Fan Q. Silicon-enhanced tolerance to rice blast is attributed to silicon – mediated defense resistance and its role as physical barriers // European Pathol., 2010. P. 39–49.

159. Wang X., Ou-Yang C., Fan Z. Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Monordiacharantin* under salt stress // Journal of Animal // Plant Sciences, 2010. №6. P. 700–708.

160. Yang X.I., Zhu C.Y., Du Y.X., Ruan H.G., Guan R.F., Chen F.R. Effects of nitrogen, potassium and silicon fertilizer on and resistance of rice Seedlings against *Magnaporthe grisea* (rice blast disease) // Fujian Journal of Agricultural Sciences, J, 2002, 2008. P. 2–8.

161. Yoshida S. The availability of silicon in paddy Soil // Paddy Soil Science / Ed. Kawaqushi Kodansha. Tokyo, Japan. P. 293–299.

ПРИЛОЖЕНИЕ



16.06.2020. Опытное поле, Ульяновский ГАУ

Губернатор Ульяновской области на опытах с внесением в почву цеолита в качестве удобрения. Демонстрирует опыты научный руководитель, профессор Куликова А.Х. Слева направо: Чепухин А.В. (председатель комитета Законодательного Собрания Ульяновской области шестого созыва по бюджету и экономической политике); Морозов С.И. (губернатор Ульяновской области); Семенкин М.И. (министр агропромышленного комплекса и развития сельских территорий Ульяновской области); Исайчев В.А. (ректор УлГАУ); Уханов А.И. (генеральный директор ООО «ИнБиоТех»); Панкратова Е.В. (главный технолог ООО «ИнБиоТех»); Куликова А.Х. (профессор, заведующий кафедрой «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»)



30.06.2020 г. Опытное поле, Ульяновский ГАУ
Научно-производственный семинар «Инновационные технологии для агропромышленного комплекса»



21.05.2020 г.

Посевы рапса на опытах по изучению эффективности цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, в качестве удобрения



07.06.2020 г.

Посевы рапса на опытах по изучению эффективности цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, в качестве удобрения



23.06.2020 г.

Посевы рапса в опытах по изучению эффективности цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, в качестве удобрения



23.06.2020 г.

Посевы рапса в опытах по изучению эффективности цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, в качестве удобрения



30.07.2020 г.

Посевы рапса в опытах по изучению эффективности цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, в качестве удобрения



11.08.2020 г.

Посевы рапса в опытах по изучению эффективности цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, в качестве удобрения



19.06.2020 г.

Опыты по изучению эффективности цеолита, а также обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения кукурузы



19.06.2020 г.

Опыты по изучению эффективности цеолита, а также обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения кукурузы



30.06.2020 г.

Опыты по изучению эффективности цеолита, а также обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения кукурузы



25.07.2020 г.

Опыты по изучению эффективности цеолита, а также обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения кукурузы



15.08.2020 г.

Опыты по изучению эффективности цеолита, а также обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения кукурузы



05.09.2020 г.

Опыты по изучению эффективности цеолита, а также обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения кукурузы



30.09.2020 г.

Опыты по изучению эффективности цеолита, а также обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения кукурузы



02.10.2020 г.

Опыты по изучению эффективности цеолита, а также обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения кукурузы



Цеолит высокоструктурированный ионообменный, модифицированный (обогащенный) аминокислотами и карбамидом



16.06.2020 г. Опытное поле Ульяновского ГАУ.

Опыты по изучению эффективности обогащенного аминокислотами цеолита в системе удобрения проса



16.07.2020 г.

Опыты по изучению эффективности цеолита, а также обогащенного аминокислотами и карбамидом в системе удобрения проса



30.06.2020 г. Опытное поле Ульяновского ГАУ.

Опыты по изучению эффективности обогащенного аминокислотами цеолита в системе удобрения проса



22.08.2020 г. Опытное поле Ульяновского ГАУ.

Опыты по изучению эффективности обогащенного аминокислотами цеолита в системе удобрения проса

Для заметок

Куликова Алевтина Христофоровна,
доктор сельскохозяйственных наук

Карпов Александр Викторович,
кандидат сельскохозяйственных наук

Яшин Евгений Александрович,
кандидат сельскохозяйственных наук

Кремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур

Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2020. – 176 с.



Подписано в печать 07.12.2020
Формат 60х90/16 Бумага офсетная №1
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 11
Тираж 500 экз. Заказ № 77

Адрес издателя: 432017, г. Ульяновск, бульвар Новый
Венец, 1