



УДК 631.811.93:631.823:631.559:631.461.61

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И
ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ ПОРОД В КАЧЕСТВЕ
ПОЧВЕННЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ**

**BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE CESPITOSE-PODSOLIC SOIL AND
PRODUCTIVITY AGROPHYTOCENOSIS IN DEPENDENCE FROM USE OF
HIGH-SILICEOUS BREEDS AS SOIL CONDITIONERS**

А.В. Козлов¹, А.Х. Куликова², И.П. Уромова¹

A.V. Kozlov¹, A.H. Kulikova², I.P. Uromova¹

¹Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина,
Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 1

²Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина,
Россия, 432017, г. Ульяновск, бульв. Новый Венец, 1

¹Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after K. Minin,
1 Ulyanova St, Nizhny Novgorod, 603950, Russia

²Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin,
1 Novy Venets Blvd, Ulyanovsk, 432017, Russia

E-mail: a_v_kozlov@mail.ru; agroec@yandex.ru

Аннотация

В опытах проводили испытание трех высококремнистых пород – диатомита Инзенского месторождения (Ульяновская область), цеолита Хотынецкого месторождения (Орловская область) и бентонитовой глины Зырянского месторождения (Курганская область) в части их влияния на биологическую активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, а также на продуктивность надземной фитомассы зерновых культур и картофеля. Опыты проводили на базе картофелеводческого предприятия ООО «Элитхоз» Нижегородской области, где в 2014 г. были заложены два микрополевых опыта в виде трехлетних звеньев зернового: «озимая пшеница – ячмень – горох» и зернопропашного: «картофель – яровая пшеница – озимая рожь» севооборотов. В первые два года испытаний (2015–2016 гг.) учитывалась надземная биологическая продуктивность озимой пшеницы сорта Московская 39 и ячменя сорта Велес, а также картофеля сорта Ред Скарлетт и яровой пшеницы сорта Курская 2038. Установлено, что биологическая активность почвы в первый год исследований сильнее отзывалась как на дозу кремнийсодержащей породы, так и на сопряженность ее действия совместно с полным минеральным удобрением. Минимальное влияние на показатель имело применение цеолита (29–35% в первый год и 24–55% во второй), среднее влияние наблюдалось от применения диатомита (до 50–110% и до 16–63%), а наибольшее – на вариантах с бентонитовой глиной (62–118% и 48–79% по годам исследований). Увеличение основной продукции под действием диатомита достигало 24% по озимой пшенице и картофелю, 38% по ячменю и 45% – по яровой пшенице. По цеолиту наибольшая эффективность варьировала в пределах 32–35% относительно урожайности ячменя, картофеля и яровой пшеницы. На вариантах с бентонитовой глиной повышение продуктивности основной части урожая у озимой пшеницы и картофеля составляло 15–17%, у яровой пшеницы – 28%, а у ячменя достигало 37%. Выявлено, что фон полного минерального удобрения культур не способствовал увеличению действия дозы кремнийсодержащих пород и обеспечивал максимальный эффект в основном на варианте с дозой пород в 3 т/га. Показано влияние кратности повышения дозы высококремнистых материалов, которое было установлено на второй год последствия и оказалось более выраженным в зернопропашном звене на культуре яровой пшеницы. Экспериментально установлено наличие тесной корреляционной взаимосвязи между биологической активностью почвы и продуктивностью сельскохозяйственных культур, зависимой от дозы кремнийсодержащих пород, существенность которой в целом варьировала по годам исследований.



Abstract

In experiences carried out testing of three high-siliceous breeds – diatomite of the Inzensky field (Ulyanovsk region), zeolite of the Hotynetsky field (Oryol region) and bentonite clay of the Zyrian field (Kurgan region), regarding their influence on biological activity of the cespitose-podsolic sandy loamy soil, and also on productivity of elevated phytomass of grain crops and potatoes. Experiments were made based on the potato production entity «Elitkhoz» of the Nizhny Novgorod Region, where in 2014 two microfield experiments in the form of three-year links of grain were pledged: «winter wheat – barley – peas» and grain-potato: «potatoes – spring-sown field – winter rye» crop rotations. In the first two years of testing (2015–2016) elevated biological productivity of winter wheat of a grade Moscow 39 and barley of a grade Velez, and also potatoes of a grade of Red Scarlett and spring-sown field of a grade Kurskaya 2038. It is established, that biological activity of the soil in the first year of researches responded both on a dose of siliceous breed, and on an associativity of its action together with complete mineral fertilizer stronger. The minimum influence on an indicator had use of zeolite (29–35% in the first year and 24–55% in the second), average influence was observed from use of diatomite (to 50–110% and to 16–63%), and the greatest – on options with bentonite clay (62–118% and 48–79% by years of researches). Increase in the main products under the influence of diatomite reached 24% on winter wheat and potatoes, 38% on barley and 45% – on spring-sown field. On zeolite the greatest efficiency varied within 32–35% concerning productivity of barley, potatoes and spring-sown field. On options with bentonite clay increase in productivity of the main part of a harvest at winter wheat and potatoes constituted 15–17%, at spring-sown field – 28%, and at barley reached 37%. It is revealed, that the background of complete mineral fertilizer of cultures didn't promote increase in action of a dose of siliceous breeds and provided the maximum effect generally on option with a dose of breeds in 3 t/hectare. Influence of frequency rate of increase in a dose of high-siliceous materials which was established for the second year of an after-effect is shown and it was more expressed in a grain-potato link on culture of spring-sown field. Availability of close correlation interrelation between biological activity of the soil and productivity of crops, dependent on a dose of siliceous breeds which materiality in general varied by years of researches is experimentally established.

Ключевые слова: биологическая активность почвы, продуктивность агрофитоценозов, высококремнистые породы, дерново-подзолистая почва.

Key words: biological activity of soil, productivity of agrophytocenosis, high-siliceous breeds, cespitose-podsolic soil.

Введение

Под устойчивым функционированием системы «почва-растение» в условиях сельскохозяйственного производства современная агроэкология понимает поддержание оптимально высокой продуктивности агрофитоценоза с сохранением физико-химических и микробиологических процессов почвенного тела и всех свойств плодородия пахотного горизонта, что в современных экономических условиях является основой ведения сельскохозяйственного производства [Кирюшин, 2010].

Мировая практика агрономии XXI века характеризуется снижением объемов минеральных удобрений, применяемых в полеводстве, главным образом по причине их значительной дороговизны и агрохимической рентабельности, варьирующей как в зависимости от культуры, так и от почвенно-климатических и погодных условий местности [Добровольский, Никитин, 2012]. По этой причине в настоящее время продолжается поиск и изучение альтернативных материалов, в том числе кремнийсодержащих веществ, в качестве удобрений, мелиорантов и кондиционеров почвы, применение которых позволяет значительно повышать продуктивность агрофитоценозов и их устойчивость к факторам экотопа, снижать пестицидную нагрузку, оптимизировать состояние плодородного слоя почвы и усиливать его питательную составляющую. Так, ряд авторов [Ma, Takahashi, 2002; Hodson et al., 2005; Gong et al., 2008; Лобода и др., 2014; Самсонова и др., 2016; Pirzad, Mohammadzadeh, 2016] описывает существенное положительное влияние кремниевых пород на урожайность и качество растениеводческой продукции. Другие исследователи [Perry, Keeling-Rucker, 2000; Матыченков и др., 2002; Ande et al., 2002; Chimney, 2007; Агафонов, Хованский, 2014] объясняют оптимизацию ППК и ПБК почвы посредством сложных ионно-обменных и биохимических взаимодействий с веществом высококремнистых пород.

Однако в настоящее время недостаточно исследований, которые характеризовали бы влияние высоких доз диатомовой, цеолитовой и бентонитовой пород на бактериальное состояние почвы и ее биологическую активность и, вследствие чего, на



продуктивность культурных растений в условиях дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны России. В итоге такие данные позволят не только понять степень влияния кремнийсодержащих материалов на состояние эффективного плодородия почвы как на следствие, но также и на сопряженность процессов почвенно-поглощающего и микробиотического комплексов в ней как на причину.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили на базе картофелеводческого предприятия ООО «Элитхоз» Борского района Нижегородской области, где в 2014 г. были заложены два микрополевых опыта в виде трехлетних звеньев зернового: «озимая пшеница – ячмень – горох» и зернопропашного: «картофель – яровая пшеница – озимая рожь» севооборотов. В первые два года испытаний (2015–2016 гг.) учитывалась надземная биологическая продуктивность озимой пшеницы сорта *Московская 39* и ячменя сорта *Велес* (звено № 1), а также картофеля сорта *Ред Скарлетт* и яровой пшеницы сорта *Курская 2038* (звено № 2).

В опытах изучалось влияние высоких доз различных кремнийсодержащих пород – диатомита Инзенского месторождения (Ульяновская область), цеолита Хотынецкого месторождения (Орловская область) и бентонитовой глины Зырянского месторождения (Курганская область), обобщенный химический состав которых представлен в таблице 1.

Схема опытов однотипна, она предусматривает вариант без удобрений (контроль), а также по три варианта с внесением в почву трех доз диатомита (D_1, D_2, D_3), цеолита (C_1, C_2, C_3) и бентонитовой глины (B_1, B_2, B_3), в том числе и по фону полного минерального удобрения культур (*NPK*). Породы вносили однократно в летний период 2014 года в пахотный слой почвы при разбивке участка и закладке опытов в высоких дозах из расчета по 3, 6 и 12 т/га каждого вида. Полное минеральное удобрение культур проводили путем внесения в почву смесей из азофоски-16, фосфоритной муки и аммиачной селитры из расчета $N_{80}P_{80}K_{80}$ кг/га д.в. в опыте с озимой пшеницей, $N_{80}P_{80}K_{60}$ кг/га д.в. в опыте с ячменем, $N_{100}P_{80}K_{80}$ кг/га д.в. в опыте с картофелем и $N_{100}P_{80}K_{60}$ кг/га д.в. в опыте с яровой пшеницей. В первый год выращивания культур минеральные удобрения вносили совместно с кремнийсодержащими породами, а во второй год – дробно в осенне-весенний период.

Таблица 1
Table 1

Химический состав высококремнистых пород Chemical composition of high-siliceous breeds

Порода	Элемент в оксидной форме (% на абс.-сух. вещество)					
	SiO_2 (общ.)	SiO_2 (аморф.)	K_2O	P_2O_5	CaO	MgO
Диатомит	83.1	42.1	1.25	0.05	0.52	0.48
Цеолит	56.6	26.7	1.25	0.23	13.3	1.90
Бентонит	52.3	33.4	0.92	0.12	5.49	3.03

Агротехника выращивания культур – общепринятая для микрополевых экспериментов, все работы проводились вручную. Зерновые культуры убирали в фазу полной спелости зерна (август), картофель – в фазу усыхания ботвы (сентябрь). Учетная площадь делянки – 1 м², расположение делянок рендомизированное, повторность в опытах – четырехкратная. В опытах весовым методом учитывалась интегральная биологическая активность почвы модифицированным методом Кристенсена с использованием неотбеленной льняной ткани, а также урожайность основной и побочной продукции культурных растений.

Микрополевой опыт был заложен на одном участке, сложенным дерново-подзолистой легкосуглинистой почвой, которая характеризуется низким содержанием гумуса (1.2%), среднекислой реакцией среды (4.8 ед. pH_{KCl}), а также средней обеспеченностью подвижными формами фосфора (86 мг/кг), калия (110 мг/кг) и кремния (16 и 213 мг/кг).

Погодные условия местности в 2015 году характеризовались незначительным количеством осадков, а сам год в целом был более жарким по сравнению со средними климатическими нормами региона. Метеоусловия 2016 года, наоборот, не отличались



дефицитом осадков, а температура воздуха колебалась в пределах нормы с небольшим ее превышением в августе.

Математическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову [2011] методом дисперсионного анализа и расчета корреляции признаков.

Результаты и их обсуждение

Известно, что клетчатка составляет основную массу растительных остатков, а роль целлюлозоразрушающих микроорганизмов как продуцентов биологически активных веществ, пополняющих общий фонд этих соединений в органическом веществе почв, исключительно велика. Например, многие виды бактерий-целлюлозолитиков (роды *Cellulomonas*, *Cellvibrio*, *Bacillus*, *Mycococcus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* и другие) синтезируют аминокислоты, ростовые вещества, витамины, пигменты и окислительные ферменты, которые участвуют в редокс-процессах гумификации растительных остатков. Некоторыми авторами [Наплекова, 2010; Козлов, Селицкая, 2015; Нетрусов, 2015] указывается роль целлюлозоразрушающих микроорганизмов в процессе аккумуляции биологически активных веществ в почве. С другой стороны, при разложении клетчатки микроорганизмы-целлюлозолитики выделяют значительное количество слизи, участвующей в оструктурировании почвы, а также пигменты разнообразной природы, вещество которых принимают непосредственное участие в синтезе гумусовых веществ [Заварзин, 2014].

В связи с этим влияние высококремнистых пород на целлюлозолитическую активность почвы позволяет говорить не только об их большой ценности в части действия на специфическое органическое вещество, напрямую сопряженного с почвенно-биотическим комплексом, но и о действии на полную биологическую активность почвы.

Сравнивая данные таблиц 2 и 3, необходимо отметить, что внесение в почву азота, фосфора и калия в виде минеральных удобрений во всех рассматриваемых случаях способствовало повышению ее биологической активности.

Таблица 2

Table 2

Влияние фона минеральных удобрений и дозы кремнийсодержащих пород на биологическую активность почвы в зерновом звене севооборота Influence of mineral fertilizers background and dose of siliceous breeds on soil biological activity in grain link of crop rotation

Вариант Фон (фактор А)	Биологическая (целлюлозолитическая) активность почвы, %				Средн. по А
	Доза породы (фактор В)				
	контроль	1 ^{ая} доза	2 ^{ая} доза	3 ^{ая} доза	
Звено №1: озимая пшеница (2015 г.) / ячмень (2016 г.)					
Диатомитовая порода					
Без фона	10.4 / 18.4	12.3 / 20.9	13.6 / 25.2	21.8 / 27.6	14.5 / 23.0
Фон NPK	30.6 / 26.7	31.2 / 28.4	31.4 / 30.4	35.3 / 27.8	32.1 / 28.3
Средн. по В	20.5 / 22.6	21.8 / 24.7	22.5 / 27.8	28.6 / 27.7	–
НСР _А = 3.4 / 1.7; НСР _В = 4.8 / 2.4; НСР _{АВ} = 6.8 / 3.4.					
Цеолитовая порода					
Без фона	10.4 / 18.4	12.2 / 19.9	13.1 / 21.3	14.0 / 23.7	12.4 / 20.8
Фон NPK	30.6 / 26.7	30.7 / 27.3	31.0 / 29.2	32.8 / 29.1	31.3 / 28.1
Средн. по В	20.5 / 22.6	21.5 / 23.6	22.1 / 25.3	23.4 / 26.4	–
НСР _А = 3.1 / 2.0; НСР _В = 4.3 / 2.9; НСР _{АВ} = 6.1 / 4.0.					
Бентонитовая порода					
Без фона	10.4 / 18.4	14.6 / 21.6	21.4 / 27.4	22.7 / 29.8	17.3 / 24.3
Фон NPK	30.6 / 26.7	32.6 / 30.8	37.8 / 32.4	39.4 / 34.4	35.1 / 31.1
Средн. по В	20.5 / 22.6	23.6 / 26.2	29.6 / 29.9	31.1 / 32.1	–
НСР _А = 3.0 / 1.8; НСР _В = 4.3 / 2.5; НСР _{АВ} = 6.0 / 3.6.					



При этом первый год исследований характеризовался более выраженным увеличением данного показателя как в случае звена севооборота № 1 (на 194% в почве под озимой пшеницей против 45% в почве под ячменем), так и в случае звена севооборота №2 (на 122% в почве под картофелем против 27% в почве под яровой пшеницей).

В звене севооборота №1 на всех вариантах совмещенного действия увеличивающейся дозы кремнийсодержащих материалов и минеральных удобрений отмечалось повышение биологической активности почвы до 15%, 7%, 29% (2015 г.) и до 4%, 9%, 29% (2016 г.) соответственно на вариантах с диатомитом, цеолитом и бентонитовой глиной по отношению к фону *НПК*. Биологическая активность почвы звена №2 характеризовалась аналогичной, но более выраженной закономерностью – до 30%, 14%, 29% (2015 г.) и до 48%, 5%, 36% (2016 г.) соответственно по породам.

Однако эффект повышения целлюлозолитической активности на вариантах совместного действия в почве высококремнистых пород и *НПК*-удобрений всегда был более сдержанным по отношению к вариантам с использованием последних в чистом виде. Более того, с повышением дозы любой из пород их совместное влияние с минеральными удобрениями стабильно снижало эффект влияния *НПК* на биологическую активность почвы. Однако обе закономерности не прослеживались по опыту с яровой пшеницей в звене №2.

Таблица 3
Table 3

Влияние фона минеральных удобрений и дозы кремнийсодержащих пород на биологическую активность почвы в зернопропашном звене севооборота
Influence of mineral fertilizers background and dose of siliceous breeds on soil biological activity in grain-potato link of crop rotation

Вариант Фон (фактор А)	Биологическая (целлюлозолитическая) активность почвы, %				Средн. по А
	Доза породы (фактор В)				
	контроль	1 ^{ая} доза	2 ^{ая} доза	3 ^{ья} доза	
Звено №2: картофель (2015 г.) / яровая пшеница (2016 г.)					
Диатомитовая порода					
Без фона	15.5 / 20.1	19.3 / 21.6	24.8 / 22.8	25.2 / 23.4	21.2 / 22.0
Фон <i>НПК</i>	34.4 / 25.5	38.6 / 29.5	40.2 / 32.3	44.7 / 37.6	39.5 / 31.2
Средн. по В	25.0 / 22.8	29.0 / 25.6	32.5 / 27.6	35.0 / 30.5	–
НСП _А = 3.0 / 2.3; НСП _В = 4.2 / 3.2; НСП _{АВ} = 6.0 / 4.5.					
Цеолитовая порода					
Без фона	15.5 / 20.1	20.1 / 23.5	23.2 / 22.4	24.0 / 24.9	20.7 / 22.7
Фон <i>НПК</i>	34.4 / 25.5	36.5 / 26.6	38.8 / 29.1	39.1 / 26.7	37.2 / 27.0
Средн. по В	25.0 / 22.8	28.3 / 25.1	31.0 / 25.8	31.6 / 25.8	–
НСП _А = 4.7 / 2.3; НСП _В = 6.7 / 3.3; НСП _{АВ} = 9.4 / 4.7.					
Бентонитовая порода					
Без фона	15.5 / 20.1	21.6 / 24.4	26.3 / 29.7	27.8 / 26.3	22.8 / 25.1
Фон <i>НПК</i>	34.4 / 25.5	40.4 / 32.0	45.7 / 36.0	44.3 / 34.8	41.2 / 32.1
Средн. по В	25.0 / 22.8	31.0 / 28.2	36.0 / 32.9	36.1 / 30.6	–
НСП _А = 4.8 / 2.5; НСП _В = 6.8 / 3.5; НСП _{АВ} = 9.7 / 5.0.					

По данным таблиц также нужно сказать, что в первый год исследований эффект действия чистых пород на биологическую активность почвы практически во всех случаях был выше, чем на второй год их последствий.

В условиях звена севооборота №1 наибольшим изменением рассматриваемого показателя по отношению к контролю характеризовались варианты с применением бентонитовой породы: в первый год – от 40% до 118%, а во второй – от 17 до 62% в зависимости от дозы. В условиях звена севооборота №2 прослеживалась аналогичная закономерность. В данном случае повышение биологической активности почвы также зависело от дозы бентонита и колебалось от 39% до 79% в первый год испытаний и от 21% до 48% во второй год.



Применение диатомовой породы в условиях звена №1 способствовало увеличению показателя до 2-х раз в первый год и до 0.5 раза во второй. В условиях звена №2 повышение биологической активности почвы под влиянием диатомита также было более сдержанным: до 63% увеличения показателя в первый год и до 16% – во второй.

Применение цеолита в чистом виде не способствовало увеличению биологической активности почвы в первый год исследований. Однако на второй год его последействия при максимальной дозе отмечалось увеличение показателя в среднем на 26% по культурам.

Зерновое звено севооборота предполагало выявление действия кремнийсодержащих материалов при выращивании озимой пшеницы в 2015 году с последующим изучением последействия при выращивании по ее фону ячменя в 2016 году. В зернопропашном звене аналогичным образом исследовалось влияние диатомита, цеолита и бентонитовой глины с действием по культуре картофеля (2015 г.) и последействием по яровой пшенице (2016 г.).

По данным таблицы 4 следует отметить, что первый год выращивания озимой пшеницы и второй – ячменя показали положительное влияние высококремнистых пород и полного минерального удобрения на биологическую продуктивность посевов. Исключение составила урожайность зерна пшеницы на вариантах с применением всех доз цеолита и первой дозы бентонитовой глины.

Таблица 4

Table 4

Влияние высококремнистых пород на продуктивность агрофитоценозов в зерновом звене севооборота
Influence of high-siliceous breeds on productivity of agrophytocenosis in grain link of crop rotation

Вариант	Озимая пшеница, т/га (2015 г.)			Ячмень, т/га (2016 г.)		
	зерно / солома	влияние...		зерно / солома	влияние...	
		фона	дозы		фона	дозы
Диатомитовая порода						
Контроль	2.51 / 3.11	–	–	3.03 / 4.39	–	–
<i>NPK</i> – фон	3.20 / 3.81	0.69 / 0.70	–	4.26 / 5.66	1.23 / 1.27	–
<i>D</i> ₁	2.80 / 3.40	–	–	3.72 / 5.21	–	–
<i>D</i> ₂	3.10 / 3.42	–	0.30 / 0.02	4.08 / 5.63	–	0.36 / 0.42
<i>D</i> ₃	2.97 / 3.43	–	0.17 / 0.03	4.19 / 5.66	–	0.47 / 0.45
<i>NPK</i> + <i>D</i> ₁	3.96 / 5.06	1.16 / 1.66	–	4.52 / 5.87	0.80 / 0.66	–
<i>NPK</i> + <i>D</i> ₂	3.84 / 4.80	0.74 / 1.38	-0.12 / -0.26	4.86 / 6.12	0.78 / 0.49	0.34 / 0.25
<i>NPK</i> + <i>D</i> ₃	3.88 / 4.77	0.91 / 1.34	-0.08 / -0.29	5.18 / 6.27	0.99 / 0.61	0.66 / 0.40
НСР ₀₅	0.26 / 0.30	0.13 / 0.15	0.18 / 0.21	0.18 / 0.33	0.09 / 0.16	0.13 / 0.23
Цеолитовая порода						
<i>Ц</i> ₁	2.60 / 3.56	–	–	3.54 / 5.06	–	–
<i>Ц</i> ₂	2.64 / 3.81	–	0.04 / 0.25	3.86 / 5.40	–	0.32 / 0.34
<i>Ц</i> ₃	2.70 / 3.78	–	0.10 / 0.22	4.01 / 5.29	–	0.47 / 0.23
<i>NPK</i> + <i>Ц</i> ₁	3.59 / 4.67	0.99 / 1.11	–	4.30 / 5.86	0.76 / 0.80	–
<i>NPK</i> + <i>Ц</i> ₂	3.51 / 4.52	0.87 / 0.71	-0.08 / -0.15	4.68 / 5.99	0.82 / 0.59	0.38 / 0.13
<i>NPK</i> + <i>Ц</i> ₃	3.52 / 4.54	0.82 / 0.76	-0.07 / -0.13	4.80 / 6.12	0.79 / 0.83	0.50 / 0.26
НСР ₀₅	0.25 / 0.24	0.14 / 0.12	0.19 / 0.16	0.32 / 0.30	0.16 / 0.15	0.23 / 0.21
Бентонитовая порода						
<i>Б</i> ₁	2.70 / 3.38	–	–	3.89 / 5.45	–	–
<i>Б</i> ₂	2.93 / 3.47	–	0.23 / 0.09	4.16 / 5.53	–	0.27 / 0.08
<i>Б</i> ₃	2.85 / 3.51	–	0.15 / 0.13	3.95 / 5.17	–	0.06 / -0.28
<i>NPK</i> + <i>Б</i> ₁	4.01 / 5.05	1.31 / 1.67	–	4.96 / 6.15	1.07 / 0.70	–
<i>NPK</i> + <i>Б</i> ₂	3.89 / 4.86	0.96 / 1.39	-0.12 / -0.19	5.23 / 6.28	1.07 / 0.75	0.27 / 0.13
<i>NPK</i> + <i>Б</i> ₃	3.94 / 4.91	1.09 / 1.40	-0.07 / -0.14	5.43 / 6.35	1.48 / 1.18	0.47 / 0.20
НСР ₀₅	0.27 / 0.35	0.13 / 0.17	0.18 / 0.25	0.28 / 0.29	0.13 / 0.15	0.21 / 0.20



На вариантах с диатомовой породой наибольшей эффективностью характеризовалась ее вторая доза при возделывании озимой пшеницы (прибавки в 24% по зерну и 10% по соломе) и третья доза – ячменя (прибавки в 38% и 29% соответственно). На вариантах с цеолитом для зерновой части урожая с максимальной эффективностью отмечалась третья доза (8% и 32% по зерну пшеницы и ячменя соответственно), а для соломистой части – вторая доза (в одинаковой степени по культурам в 23%).

На вариантах с бентонитовой породой в отношении зерна культурных растений высокая эффективность была отмечена при применении ее второй дозы (17% и 37% прибавки в массе зерна пшеницы и ячменя соответственно).

Применение кремнийсодержащих пород по фону полного минерального удобрения показало иную закономерность: эффект действия отличался по культурам. Так, если в отношении урожая озимой пшеницы наибольшая прибавка в биомассе ее зерна (58%, 43% и 60%) и соломы (63%, 50% и 62%) наблюдалась на вариантах с внесением минимальной дозы диатомита, цеолита и бентонитовой глины соответственно, то в отношении биомассы ячменя высокой эффективностью характеризовалось последствие третьей дозы всех пород. Здесь прибавки в зерновой части урожая составили соответственно 71%, 58% и 79%, а в соломистой – 43%, 39% и 45%. По-видимому, на данном примере мы наблюдаем положительную реакцию ячменя как растения-кремнефила на увеличение содержания в почве подвижных соединений кремния от максимальной дозы внесенных высококремнистых веществ.

Влияние фона *NPK* в большинстве рассматриваемых случаев было наибольшим при совместном применении минеральных удобрений и минимальной дозы любой из пород. Зерновая часть урожая пшеницы давала максимальную прибавку в 41% на варианте с диатомитом, 38% на варианте с цеолитом и 49% на варианте с бентонитовой глиной. Однако масса зерна ячменя давала прибавку в 24% и 38% уже на вариантах с третьей дозой диатомита и бентонита соответственно. При этом, на вариантах с цеолитом, внесенным по фону *NPK*, выход зерновой части урожая культуры не зависел от дозы породы.

В отношении степени действия на соломистую часть урожая обеих культур наблюдалась аналогичная закономерность. Влияние минерального удобрения у пшеницы было также наибольшим при его внесении в почву с наименьшей дозой пород: прибавка колебалась от 31% по цеолиту до 49% в равной степени по диатомовой и бентонитовой породам.

Чистое влияние минеральных удобрений в целом по опытам было несколько меньшим в первый год исследований и при этом более выраженным в отношении зерновой части урожая обеих культур. Так, прибавки в биомассе зерна составили 28% и 41%, а в массе соломы – 23% и 29% соответственно по пшенице и ячменю.

Вычленение эффекта действия кратности повышения дозы кремнийсодержащих пород на биологическую продуктивность агрофитоценозов звеньев обоих севооборотов показало серьезную разницу как в величине самого эффекта, так и в его наличии. Так, в первый год при выращивании озимой пшеницы эффект от двукратного повышения дозы был отмечен только на вариантах с диатомитом и бентонитом по ее зерну (на 11% и 9%), а также от двукратного – на варианте с цеолитом по ее соломе (на 7%). Остальные варианты не показали эффекта повышения дозы пород.

Однако второй год звена зернового севооборота, в котором выращивался ячмень, показал эффективность последствия от кратности повышения дозы высококремнистых материалов практически на всех исследуемых вариантах, за исключением вариантов с бентонитовой глиной. В целом нужно сказать, что данный эффект сильнее выражался в отношении зерна культуры. При этом от двукратного увеличения дозы прибавка колебалась от 7% до 10%, а на фоне минерального удобрения – от 5% до 9% в зависимости от породы. Четырехкратное увеличение дозы давало прибавку в массе зерна в среднем на 13%, а на фоне *NPK* – на 10–15%.

В таблице 5 отражена продуктивность агрофитоценозов звена зернопропашного севооборота. Нужно сказать, что как и в случае с первым звеном



применение высококремнистых пород в качестве удобрений способствовало увеличению биологической продуктивности посевов, которое, однако, различалось по культурам.

Таблица 5
Table 5

Влияние высококремнистых пород на продуктивность агрофитоценозов в зернопропашном звене севооборота
Influence of high-siliceous breeds on productivity of agrophytocenosis in grain-potato link of crop rotation

Вариант	Картофель, т/га (2015 г.)			Яровая пшеница, т/га (2016 г.)		
	клубни / ботва	влияние...		зерно / солома	влияние...	
		фона	дозы		фона	дозы
Диатомитовая порода						
Контроль	24.6 / 12.6	–	–	2.70 / 3.24	–	–
<i>NPK</i> – фон	34.4 / 19.0	9.8 / 6.4	–	4.00 / 5.28	1.30 / 2.04	–
<i>D</i> ₁	27.3 / 14.2	–	–	2.94 / 3.53	–	–
<i>D</i> ₂	29.6 / 15.5	–	2.3 / 1.3	3.92 / 4.66	–	0.98 / 1.13
<i>D</i> ₃	30.4 / 15.8	–	3.1 / 1.6	3.46 / 4.08	–	0.52 / 0.55
<i>NPK</i> + <i>D</i> ₁	39.5 / 21.8	12.2 / 7.6	–	4.60 / 5.98	1.66 / 2.45	–
<i>NPK</i> + <i>D</i> ₂	42.7 / 23.8	13.1 / 8.3	3.2 / 2.0	5.88 / 7.47	1.96 / 2.81	1.28 / 1.49
<i>NPK</i> + <i>D</i> ₃	43.7 / 24.4	13.3 / 8.6	4.2 / 2.6	5.41 / 6.87	1.95 / 2.79	0.81 / 0.89
<i>HCP</i> ₀₅	5.6 / 2.5	2.8 / 1.2	3.9 / 1.8	0.22 / 0.24	0.11 / 0.12	0.14 / 0.15
Цеолитовая порода						
<i>Ц</i> ₁	27.8 / 14.6	–	–	2.83 / 3.34	–	–
<i>Ц</i> ₂	28.9 / 15.3	–	1.1 / 0.7	2.99 / 3.52	–	0.16 / 0.18
<i>Ц</i> ₃	33.2 / 17.6	–	5.4 / 3.0	3.62 / 4.24	–	0.79 / 0.90
<i>NPK</i> + <i>Ц</i> ₁	41.0 / 22.8	13.2 / 8.2	–	4.72 / 5.90	1.89 / 2.56	–
<i>NPK</i> + <i>Ц</i> ₂	43.1 / 23.6	14.2 / 8.3	2.1 / 0.8	5.03 / 6.24	2.04 / 2.72	0.31 / 0.34
<i>NPK</i> + <i>Ц</i> ₃	48.0 / 28.0	14.8 / 10.4	7.0 / 5.2	5.25 / 6.30	1.63 / 2.06	0.53 / 0.40
<i>HCP</i> ₀₅	3.3 / 2.4	1.6 / 1.2	2.3 / 1.7	0.22 / 0.21	0.13 / 0.11	0.16 / 0.15
Бентонитовая порода						
<i>Б</i> ₁	26.7 / 14.0	–	–	2.89 / 3.44	–	–
<i>Б</i> ₂	27.0 / 14.4	–	0.3 / 0.4	3.14 / 3.67	–	0.25 / 0.23
<i>Б</i> ₃	28.2 / 14.7	–	1.5 / 0.7	3.46 / 3.98	–	0.57 / 0.54
<i>NPK</i> + <i>Б</i> ₁	38.4 / 21.4	11.7 / 7.4	–	4.16 / 5.32	1.27 / 1.88	–
<i>NPK</i> + <i>Б</i> ₂	39.0 / 23.0	12.0 / 8.6	0.6 / 1.6	4.89 / 6.21	1.75 / 2.54	0.73 / 0.89
<i>NPK</i> + <i>Б</i> ₃	40.9 / 23.3	12.7 / 8.6	2.5 / 1.9	5.13 / 6.31	1.67 / 2.33	0.97 / 0.99
<i>HCP</i> ₀₅	3.5 / 1.8	1.8 / 0.9	2.5 / 1.3	0.24 / 0.20	0.12 / 0.10	0.17 / 0.14

В отношении культуры картофеля максимальный эффект действия всех пород был отмечен на вариантах с третьей дозой (12 т/га). Прибавка в массе клубней составила 24%, 35% и 15%, а в массе ботвы – 25%, 40% и 17% соответственно по трем породам. Эффект от применения кремнийсодержащих материалов по фону *NPK* оказался более выраженным: урожайность клубней повышалась в 1.8, 1.9 и 1.7 раза соответственно на вариантах с диатомитом, цеолитом и бентонитовой глиной. Аналогичным образом увеличивалась и продуктивность ботвы – в 1.3, 2.2 и 1.9 раза по отношению к контролю.

Продуктивность яровой пшеницы, возделанной в 2016 году по картофелю, также повышалась в условиях последействия высококремнистых пород в агрофитоценозе. На вариантах с диатомитом наибольший эффект достигался при его



второй дозе. Здесь прибавка в массе зерна и соломы была одинаковой и составила 44%, а по фону *NPK* – обе биомассы увеличивались в 2.2 раза.

На вариантах с цеолитом и бентонитовой глиной максимальное увеличение биологической продуктивности культуры отмечалось при их третьей дозе – по зерну и соломе соответственно на 34% и 31% от цеолита, и на 28% и 23% от бентонита. Влияние данных пород по фону минеральных удобрений давало примерно равную прибавку в массе соломы и зерна – в 1.9 раз.

В отношении изменения действия фона полного минерального удобрения культур, происходящего под влиянием высококремнистых пород, каких-либо закономерностей не отмечалось. Нужно отметить, что его уровень был выше в опыте с яровой пшеницей, а максимальное значение он имел на варианте со второй дозой цеолита (на 68% по зерну и на 77% по соломе).

В опыте с картофелем на вариантах с диатомовой породой эффективность действия *NPK* не изменялась (44% и 54% соответственно по клубням и ботве), на вариантах с цеолитом наибольший эффект составлял 49% и 59%, а на вариантах с бентонитовой глиной – 45% и 60%.

Влияние чистого минерального удобрения было сильнее выражено в отношении побочной части урожая, и также как и в первом рассмотренном звене «озимая пшеница – ячмень», на второй год. Например, увеличение массы клубней и ботвы картофеля составило соответственно 40% и 51%, а зерна и соломы яровой пшеницы – 48% и 63%.

Действие кратности повышения дозы пород на биологическую продуктивность агрофитоценозов оказалось более значительным на второй год их влияния. В опыте с яровой пшеницей на последствие двукратное увеличение дозы было более эффективно в вариантах с диатомитом. При этом прибавка в массах зерна и соломы пшеницы оказалась примерно равной и составила 33% по плодородию почвы и 26% по фону *NPK*. На вариантах же с цеолитом и бентонитовой глиной с максимальным эффектом отличилось четырехкратное увеличение дозы пород, которое также примерно в одинаковой мере влияло на повышение биомассы основной и побочной частей урожая. Так, на вариантах с цеолитом данная прибавка составила 27% и 9%, а на вариантах с бентонитовой глиной – 18% и 21% соответственно по фону плодородия почвы и минерального удобрения культуры.

В отношении действия кратности увеличения дозы пород на биомассу картофеля, выращенного в первый год исследований, нужно сказать, что оно проявлялось примерно в одинаковой степени на основной и побочной продукции и мало зависело от наличия фона *NPK* – на 11% по вариантам с диатомитом, на 22% с цеолитом и на 7% с бентонитовой глиной.

Исследования по влиянию возрастающей дозы кремнийсодержащих пород на биологическую активность дерново-подзолистой почвы и на продуктивность агрофитоценозов звеньев разных севооборотов показали наличие корреляционной зависимости между отдельными параметрами, представленными в таблицах 6 и 7. Во всех рассмотренных случаях коэффициент корреляции r был положительным, а наличие тесноты связи в целом зависело от звена севооборота. Так, если в звене №1 тесной связью признаков в большей степени характеризовался второй год исследований, то в звене №2 теснота проявлялась как в первый, так и на второй год.

Данные закономерности показали наличие весьма значительной зависимости между биологической активностью почвы и продуктивностью агрофитоценозов в условиях повышения дозы высококремнистых пород. Однако на основе условия ($t_{\text{факт.}} \geq t_{\text{теор.}}$) из всех рассмотренных случаев в звене севооборота №1 статистически существенной оказалась зависимость только между урожайностью культур и биологической активностью почвы на вариантах с цеолитом и бентонитовой глиной: в первый год испытаний (озимая пшеница) – на фоне естественного плодородия почвы, а на второй год (ячмень) – на фоне минеральных удобрений.



Таблица 6

Table 6

Влияние дозы кремнийсодержащих пород на зависимость продуктивности агрофитоценозов от биологической активности почвы в звене № 1
Influence of siliceous breeds dose on dependence of productivity agrophytocenosis from biological activity of soil in a link № 1

$r (s_r)^*$	Биологическая активность почвы					
	первый год (2015) – озимая пшеница			второй год (2016) – ячмень		
	диатомит	цеолит	бентонит	диатомит	цеолит	бентонит
на фоне исходного плодородия почвы						
Основная продукция	0.56 (0.59)	1.00 (0.05)	0.95 (0.21)	0.94 (0.24)	0.94 (0.25)	0.80 (0.43)
Побочная продукция	0.60 (0.56)	0.96 (0.20)	0.94 (0.25)	0.92 (0.28)	0.80 (0.42)	0.61 (0.56)
Общая биомасса	0.60 (0.57)	0.97 (0.17)	0.96 (0.20)	0.93 (0.26)	0.88 (0.34)	0.71 (0.50)
на фоне минеральных удобрений						
Основная продукция	0.44 (0.63)	0.33 (0.67)	0.64 (0.54)	0.42 (0.64)	0.97 (0.18)	0.99 (0.07)
Побочная продукция	0.33 (0.67)	0.35 (0.66)	0.62 (0.55)	0.52 (0.61)	0.92 (0.27)	0.98 (0.15)
Общая биомасса	0.38 (0.66)	0.33 (0.67)	0.63 (0.55)	0.46 (0.63)	0.96 (0.19)	0.99 (0.10)

Таблица 7

Table 7

Влияние дозы кремнийсодержащих пород на зависимость продуктивности агрофитоценозов от биологической активности почвы в звене № 2
Influence of siliceous breeds dose on dependence of productivity agrophytocenosis from biological activity of soil in a link № 2

$r (s_r)^*$	Биологическая активность почвы					
	первый год (2015) – картофель			второй год (2016) – яровая пшеница		
	диатомит	цеолит	бентонит	диатомит	цеолит	бентонит
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
на фоне исходного плодородия почвы						
Основная продукция	0.99 (0.10)	0.91 (0.30)	0.96 (0.20)	0.84 (0.38)	0.81 (0.41)	0.70 (0.50)
Побочная продукция	0.99 (0.10)	0.92 (0.27)	0.98 (0.14)	0.82 (0.40)	0.79 (0.44)	0.70 (0.50)
Общая биомасса	0.99 (0.10)	0.91 (0.29)	0.97 (0.17)	0.83 (0.39)	0.80 (0.42)	0.71 (0.50)
на фоне минеральных удобрений						
Основная продукция	0.94 (0.24)	0.94 (0.23)	0.91 (0.30)	0.78 (0.44)	0.63 (0.55)	0.85 (0.38)
Побочная продукция	0.94 (0.24)	0.90 (0.32)	0.98 (0.12)	0.77 (0.45)	0.72 (0.49)	0.82 (0.40)
Общая биомасса	0.94 (0.24)	0.93 (0.26)	0.95 (0.22)	0.77 (0.45)	0.67 (0.52)	0.84 (0.39)



В звене севооборота № 2 зависимость между продуктивностью культур и биологической активностью почвы оказалась существенной только в первый год исследований (картофель): по фону плодородия почвы – на вариантах с диатомовой и бентонитовой породами, а по фону *НПК* – только на варианте с бентонитом в отношении побочной продукции культуры.

Поскольку в случаях остальных сравниваемых пар корреляция была тесной, она, по-видимому, также определялась не только величиной биологической активности почвы, но и иными факторами. В частности, к ним можно отнести влияние вещества высококремнистых пород на показатели кислотности почвы, а также на содержание в ней подвижных соединений фосфора, калия и кремния.

Выводы

1. Применение высококремнистых пород в агрофитоценозах способствовало увеличению целлюлозолитической активности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и повышению биологической продуктивности надземной фитомассы сельскохозяйственных культур.

2. Интегральная биологическая активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в первый год исследований существенно изменялась как в зависимости от дозы кремнийсодержащей породы (до 39% до 79%), так и от ее совместного действия с минеральными удобрениями.

3. Уровень урожайности основной и побочной частей растений, а также ее повышение в зависимости от дозы высококремнистых материалов оказались неодинаковыми по годам исследований, что, по-видимому, было обусловлено дефицитом влагообеспеченности первого (2015) года и сильной пролонгированностью взаимодействия кремнийсодержащих пород с ППК и ПБК почвы.

4. В целом по опытам влияние изученных доз диатомита, цеолита и бентонитовой глины как в чистом виде, так и по фону минеральных удобрений существенно проявлялось на второй год последствия. Влияние высококремнистых пород на эффективность полного минерального удобрения четко различалось по звеньям севооборота: в зерновом его уровень был выше в первый год исследований, а зернопропашном – на второй год.

5. В опытах установлено наличие корреляционной взаимосвязи биологической активности почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур. Существенность корреляции зависела от года испытаний и культуры, но в целом она прослеживалась во второй год на фоне минеральных удобрений и в первый год – по естественному плодородию почвы.

Благодарности

Авторы выражают благодарность генеральному директору ООО «Элитхоз» (Борский район Нижегородской области) Анатолию Германовичу Пушкову за предоставление материальных средств и условий (качественный посевной и посадочный материал, участок поля) для проведения научных исследований.

Список литературы

References

1. Агафонов Е.В., Хованский М.В. 2014. Влияние бентонита на повышение плодородия чернозема обыкновенного. *Почвоведение*, (5): 597–601.

Agafonov E.V., Novanskij M.V. 2014. Influence of bentonite on increase in fertility of the chernozem ordinary. *Eurasian Soil Science*, (5): 597–601. (in Russian)

2. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. 2012. Экология почв. М., Издательство Московского университета, 412.

Dobrovol'skij G.V., Nikitin E.D. 2012. *Jekologija pochv* [Ecology of soils]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 412. (in Russian)



3. Доспехов Б.А. 2011. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., ИД Альянс, 352.
Dosphehov B.A. 2011. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij) [Technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of researches)]. Moscow, ID Al'jans, 352. (in Russian)
4. Заварзин Г.А. 2014. Лекции по природоведческой микробиологии. М., Наука, 348.
Zavarzin G.A. 2014. Lekcii po prirodovedcheskoj mikrobiologii [Lectures on naturalists' microbiology]. Moscow, Nauka, 348. (in Russian)
5. Кирюшин В.И. 2010. Агротомическое почвоведение. М., КолосС, 687.
Kirjushin V.I. 2010. Agronomicheskoe pochvovedenie [Agronomical pedology]. Moscow, KolosS, 687. (in Russian)
6. Козлов А.В., Селицкая О.В. 2015. Значение микроорганизмов в поддержании устойчивости почв к воздействию антропогенных факторов. *Вестник Мининского университета*, 3 (11): 27.
Kozlov A.V., Selickaja O.V. 2015. Value of microorganisms in maintenance of soils resistance to influence of anthropogenous factors. *Vestnik of Minin University*, 3 (11): 27. (in Russian)
7. Лобода Б.П., Багдасаров В.Р., Фицуро Д.Д. 2014. Влияние удобрения на основе цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения на урожайность и качество картофеля. *Агротомия*, (3): 28–35.
Loboda B.P., Bagdasarov V.R., Ficuro D.D. 2014. Influence of fertilizer on a basis of zeolite bergmeals of Hotynetsky field on productivity and quality of potatoes. *Agrohimiya*, (3): 28–35. (in Russian)
8. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М. 2002. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву. *Агротомия*, (2): 86–93.
Matychenkov V.V., Bocharnikova E.A., Ammosova Ja.M. 2002. Influence of silicon fertilizers on plants and soil. *Agrohimiya*, (2): 86–93. (in Russian)
9. Наплекова Н.Н. 2010. Метаболиты аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов и их роль в почвах. Новосибирск, Новосибирский ГАУ, 228.
Napleкова N.N. 2010. Metabolity ajerobnyh celljulozorazrushajushhh mikroorganizmov i ih rol' v pochvah [Metabolites of aerobic cellulose destructor microorganisms and their role in soils]. Novosibirsk, Novosibirskij GAU, 228. (in Russian)
10. Нетрусов А.И. 2015. Экология микроорганизмов. М., Издательство Юрайт, 268.
Netrusov A.I. 2015. Jekologija mikroorganizmov [Ecology of microorganisms]. Moscow, Izdatel'stvo Jurajt, 268. (in Russian)
11. Самсонова Н.Е., Козлов Ю.В., Капустина М.В., Денисова И.И., Антонова Н.А., Шупинская И.А. 2016. Эффективность природного высококремнистого цеолита при выращивании кукурузы в условиях западной части Центрального Нечерноземья. *Агротомия*, (3): 23–31.
Samsonova N.E., Kozlov Ju.V., Kapustina M.V., Denisova I.I., Antonova N.A., Shupinskaja I.A. 2016. Efficiency of natural high-siliceous zeolite in case of corn cultivation in conditions of the western part of Central Non-Black Earth Region. *Agrohimiya*, (3): 23–31. (in Russian)
12. Ande B., Ande P., Bocharnikova E.A., Calvert D.V., Matichenkov V.V. 2002. Effect of Si-rich slag and lime on P leaching in sandy soil. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, 22: 9–15.
13. Chimney M.J. 2007. Minimizing phosphorus release from newly flooded organic soils amended with calcium silicate slag: a pilot study. *Wetlands Ecology and Management*, 15 (5): 385–390.
14. Gong H.J., Chen K.M., Zhao Z.G., Chen G.C., Zhou W.J. 2008. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biologia Plantarum*, 52 (3): 592–596.
15. Hodson M.J., White P.J., Mead A., Broadley M.R. 2005. Phylogenetic variation in the silicon (Si) composition of plants. *Annals of Botany*, 96: 1027–1046.
16. Ma J.F., Takahashi E. 2002. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. Netherlands, Elsevier, 281.
17. Perry C.C., Keeling-Rucker T. 2000. Biosilicification: the role of the organic matrix in structure control. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 5: 537–550.
18. Pirzad A., Mohammadzadeh S. 2016. Zeolite use efficiency variation under water deficit stress in grass pea and lentil. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 9 (3): 291–303.