



УДК 631.461.74 550.72 631.82
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.29.3>

Активность силикатных бактерий и *Bacillus mucilaginosus* в дерново-подзолистой почве в отношении деградации диатомита Инзенского месторождения

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

¹Нижегородский государственный педагогический университет им. Козьмы Минина,
г. Нижний Новгород, Россия

²Ульяновский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина,
г. Ульяновск, Россия

E-mail: a_v_kozlov@mail.ru

Аннотация. Представлена трёхлетняя (2015–2017 гг.) динамика численности комплекса силикатных бактерий и специфического вида *Bacillus mucilaginosus* в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве под действием диатомита Инзенского месторождения, содержащего значительное количество активных соединений кремния, мобильно выходящих в почвенный раствор из его аморфных биоразлагаемых микроструктур. Установлена оптимальная обеспечивающая активизацию силикатдеструктурирующих микроорганизмов дозировка внесения породы, что приводило к существенному увеличению содержания в почве подвижных фракций кремния. Показано наличие сильной коррелятивной зависимости между количеством в почве обеих групп силикатных бактерий и содержанием в ней подвижных соединений кремния при внесении высоких доз диатомита. Результаты изучения позволяют расценивать диатомитовую породу как биоразлагаемый природный материал, пролонгированно активизирующий литотрофную часть почвенно-биотического комплекса с одновременной оптимизацией почвенной минеральной матрицы аморфными соединениями кремнезёма.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, диатомит, силикатные бактерии, биохимическая деградация породы, подвижные соединения кремния.

Для цитирования: Козлов А. В., Куликова А. Х., Уромова И. П. Активность силикатных бактерий и *Bacillus mucilaginosus* в дерново-подзолистой почве в отношении деградации диатомита Инзенского месторождения // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2019. Т. 29. С. 3–14. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.29.3>

Введение

Одной из современных тенденций агропочвоведения является эколого-мелиоративное направление развития сельскохозяйственного производства [Сугаченко, Лопатовская, 2016] с одновременным глубоким изучением альтернативных способов химизации пахотных почв [Гребенщикова, Юст, Пыхтеева, 2016; Иванов, Волков, Савин, 2017]. При этом открытыми остаются вопросы взаимодействия системы «почва – растение» при применении природных высококремнистых материалов. Результаты их внесения в почвы позволяют говорить о положительном влиянии на фосфорно-калийное пи-

тание культурных растений [Biel, Matichenkov, Fomina, 2008; Бочарникова, Матыченков, Матыченков, 2011], на кислотно-основной режим [Подвижные кремниевые ... , 2016; Kulikova, Kozlov, Toigildin, 2018] и активность почвенных микробиоценозов [Perry, Keeling-Rucker, 2000; Козлов, Селицкая, 2015], что в итоге позитивно отражается на продуктивности посевов с сохранением товарных качеств их продукции [Phylogenetic variation ... , 2005; Tracing the origin ... , 2011; Куликова, 2013; Оценка объёмов ... , 2019].

Одной из основных причин положительного влияния кремнийсодержащих пород является привнесение в гумусо-аккумулятивный горизонт аморфного (неокристаллизованного) полигидратированного кремнезёма в большом количестве [Куликова, 2013], который активно подвергается микробной трансформации [Боброва, 1995; Соколова, 2011; Биоморфный кремнезём ... , 2013]. Несмотря на отсутствие единой гипотезы образования аморфного SiO_2 в почвах, известно, что в различных количествах он присутствует во всех почвенных типах в виде производных первичных и вторичных минералов, а также в виде биогенных образований – фитолитов, спикул губок, панцирей диатомей и раковинных амёб [Гольева, 2001]. Известно, что данные соединения кремния играют значимую роль как в обеспечении почвенно-поглощающей матрицы реакционно-активными минеральными компонентами, а почвенно-биотического комплекса (ПБК) – субстратом абсорбции и литотрофного питания, так и в промежуточном этапе геохимической миграции кремния через педосферу [Соколова, Дронова, Толпешта, 2005; Козлов, Селицкая, 2015].

Вопреки значительному содержанию валового кремнезёма в почвах подзолистого ряда (в среднем 60–90 % в зависимости от минералогического и гранулометрического состава), именно они считаются наиболее обеднёнными подвижными соединениями кремния по причине развитого процесса подзолообразования и лессиважа, которые, в свою очередь, способствуют элювированию аморфных силикатов из верхней части профиля. В результате такие почвы эволюционно не могут обеспечить фитоценоз необходимым количеством данного питательного элемента, развитие ПБК практически не сопряжено с ассимиляцией доступных форм кремния, а коллоидная система почвы функционирует только на основе тонких частиц от вторичных хлоритов, гидрослюд, полевых шпатов и незначительного количества истинных гумусовых компонентов.

Обитающие во всех почвах силикатные бактерии являются специфическим миксотрофным микробным комплексом, в более активной степени трансформирующим почвенную минеральную матрицу [Няникова, Виноградов, 2000]. Поэтому активность данных микроорганизмов является своего рода индикатором кремниевого состояния почвенного раствора [Козлов, Селицкая, 2015].

В настоящее время в научной литературе недостаточно сведений о направлениях взаимодействия микробиотической составляющей почв и вещества диатомитовых пород. Кроме того, практически нет таких данных, основанных на экспериментах в условиях почвенного покрова подзолистого ряда, которые в большей степени распространены в агроландшафтах нашей страны.

Целью работы являлась оценка активности комплекса силикатных бактерий в отношении биохимической деградации диатомита Инзенского месторождения в дерново-подзолистой почве в направлении оптимизации кремниевого питания агрофитоценоза и почвенно-биотического комплекса. В задачи исследований входило изучение динамики численности комплекса силикатных бактерий и специфических бактерий *Bacillus mucilaginosus* в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от дозы высококремнистой породы; анализ состояния подвижности различных соединений кремния в почвенном растворе; статистическое сопоставление активности литотрофной части микробиоценоза почвы с е` матрицей доступного различным агрофитоценозам кремния.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись диатомит Инзенского месторождения (Ульяновская область) и две группы силикатных микроорганизмов дерново-подзолистой почвы.

Трёхлетний эксперимент представлял собой микрополевой опыт, заложенный в 2014 г. в условиях картофелеводческого хозяйства ООО «Элитхоз» в Борском районе Нижегородской области. Схема опыта включала вариант естественного плодородия почвы (контрольный), а также варианты с внесением в почву высоких доз диатомита – из расчёта 3 т/га (Д-1), 6 т/га (Д-2) и 12 т/га (Д-3). Породу вносили однократно в летний период 2014 г. при разбивке участка на делянки. В годы испытаний выращивалась озимая пшеница сорта Московская 39 (2015 г.), ячмень сорта Велес (2016 г.) и горох посевной сорта Чишминский 95 (2017 г.). Сорта культур районированы по Волго-Вятскому региону. Агротехника выращивания культур – общепринятая для микрополевых экспериментов, все работы проводились вручную. Учётная площадь делянки – 1 м², расположение делянок рандомизированное, повторность в опытах – четырёхкратная.

Почва опытного поля – дерново-подзолистая среднедерновая неглубокоподзоленная неоглеенная легкосуглинистая, обладающая среднекислой реакцией (рН_{KCl} 4,8 ед. рН), низким содержанием гумуса (1,21 %), средним содержанием подвижных соединений фосфора и калия (соответственно 86 и 110 мг/кг по Кирсанову), а также средним уровнем дефицита в балансе – актуального и потенциального кремния (соответственно 16 и 213 мг/кг по Матыченкову).

Образцы почвы отбирали в дни уборки урожая культур методом конверта из пяти точек с делянки, соединяя их в объединённый образец. Далее почвенные образцы подготавливали к микробиологическому анализу и определяли численность бактерий классическим чашечным методом. Общее количество силикатных микроорганизмов определяли на агаре Александра-Зака [Селибер, 1962], численность *Bacillus mucilaginosus* – на селективной среде Няниковой – Виноградова [Няникова, Виноградов, 2000]. Содержание подвижных соединений кремния в почве определяли спектрофотометрическим методом Матыченкова [Подвижные кремниевые соедине-

ния..., 2016]. Микробиологические и химические анализы почвы выполнялись на базе научно-образовательного центра «Биотехнология» и эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды Нижегородского ГПУ в 2014–2017 гг.

Статистическую обработку данных проводили методом вариационного и корреляционного анализов по Доспехову [2011] с использованием программы Excel из пакета Microsoft Office 2007.

Результаты и обсуждение

Диатомиты представляют собой аморфную кремнийсодержащую породу органогенного генезиса, сформированную из остатков диатомовых водорослей. Опал-кристобалитовая структура, имеющая в диатомитах биогенную природу и по сути представленная полигидратированным оксидом кремния ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$), определяет высокую реакционную активность вещества породы (например, хорошую растворимость в слабых растворах кислот и щелочей), а также податливость к ферментативной биотрансформации [Козлов, Селицкая, 2015].

Диатомиты обладают рядом различных свойств, питательность и каталитическая способность из которых являются наиболее значимыми с точки зрения агрономического почвоведения. В валовом составе диатомитов Инзенского месторождения в среднем содержится (%): SiO_2 – 83,1, CaO – 0,52, MgO – 0,48, P_2O_5 – 0,05, K_2O – 1,25. Катионообменный комплекс породы включает (мг/кг) обменные соединения кальция (Ca^{2+}) – 10, магния (Mg^{2+}) – 39 и фосфора (PO_4^{3-}) – 37. Отличительной особенностью рассматриваемого диатомита является очень высокое содержание аморфного кремния (SiO_2) – 12 200 мг/кг и калия (K^+) – 350 мг/кг, что определяет высокую ёмкость катионного обмена (ЕКО), которая, по данным разных авторов, может достигать 80–100 мг-экв./100 г породы [Куликова, 2013]. Такие свойства материала изначально могут определять её высокую доступность к биоразложению почвенными микроорганизмами.

В условиях трёхлетнего микрополевого опыта были выявлены существенные различия в численности как общего комплекса силикатных бактерий, так и специфического вида *Bacillus mucilaginosus* в почве при внесении в неё высоких доз диатомовой породы (табл. 1).

В частности, уже в первый год исследования на варианте с применением минимальной дозы диатомита количество силикатных бактерий возросло почти вдвое, а на варианте с наибольшей дозой – более чем в четыре раза в сравнении с контрольным значением. На вариантах Д-1 и Д-2 такая закономерность сохранялась в течение всех лет исследования, а на варианте Д-3 к третьему году наблюдалось снижение эффекта от дозы породы. В среднем за три года максимальное увеличение численности силикатного комплекса бактерий (в 3,7 раза) отмечалось на варианте с внесением в почву 12 т/га диатомита.

Таблица 1

Динамика численности комплекса силикатных бактерий и *Bacillus mucilaginosus* в дерново-подзолистой почве опытного участка, подвергающейся действию диатомита ($\times 10^6$ КОЕ / 1 г почвы)

Вариант	2015 г.		2016 г.		2017 г.		В среднем за 3 года
	<i>M</i> \pm <i>m</i>	<i>V</i>	<i>M</i> \pm <i>m</i>	<i>V</i>	<i>M</i> \pm <i>m</i>	<i>V</i>	
Комплекс силикатных бактерий							
Контроль	20,5 \pm 0,7	7	29,2 \pm 1,2	8	25,9 \pm 1,0	8	25,2
Д-1	39,3 \pm 6,3	32	46,8 \pm 1,4	6	50,7 \pm 0,6	2	45,6
Д-2	74,2 \pm 5,6	15	88,9 \pm 2,2	5	92,9 \pm 2,1	4	85,3
Д-3	90,1 \pm 2,8	6	93,8 \pm 1,4	3	97,1 \pm 2,1	4	93,7
<i>F</i> _r	38,82		315,69		546,00		–
<i>B. mucilaginosus</i>							
Контроль	5,6 \pm 0,1	5	7,1 \pm 0,1	4	8,0 \pm 0,1	4	6,9
Д-1	8,3 \pm 0,8	19	12,2 \pm 0,3	5	13,1 \pm 0,6	9	11,2
Д-2	9,7 \pm 0,4	8	19,8 \pm 0,6	6	17,3 \pm 0,7	8	15,6
Д-3	16,0 \pm 0,7	9	26,1 \pm 0,9	7	22,3 \pm 0,9	8	21,5
<i>F</i> _r	86,58		184,11		132,93		–

Примечание. Здесь и далее: *M* \pm *m* – среднее арифметическое \pm ошибка среднего значения; *V* – коэффициент вариации (%); *F*_r – расчётный критерий Фишера в сравнении вариантов при статистическом уровне значимости *p* < 0,05; *F*_r = 3,86 – теоретический критерий Фишера при *n*₁ = 3 и *p* < 0,05.

Количество специфических бактерий *B. mucilaginosus* в опыте имело схожую, но менее выраженную закономерность. Так, если на варианте Д-1 эффект от дозы варьировался от 48 до 72 % в зависимости от года действия, то на варианте Д-3 максимальное действие породы отмечалось на второй год (увеличение численности в 3,7 раза), после чего эффект ослабевал. В зависимости от дозы материала среднее за три года исследования повышенные численности бацилл составляло от 1,6 до 3,1 раза.

Внесение диатомита в почву очевидно способствует оптимизации питательного режима рассматриваемых групп бактерий, что приводит к столь существенному повышению их количества. В связи с этим можно сказать, что экологический статус данной микробной ассоциации определяется L-отбором (отбор неблагоприятных условий), который проявляется в виде массового размножения определённых популяций, обычно пребывающих в почвах в незначительных количествах, но способных резко увеличивать плотность населения при определённых условиях. Применение диатомовой породы способствовало выводу L-стратегов из силикатного пищевого стресса, типичного для почв подзолистого ряда, пребывающих в обычных природных условиях.

Вероятно, именно по причине единовременного усиления метаболизма силикатных бактерий, а также вследствие пополнения почвенной массы большим количеством диатомита содержание подвижных соединений кремния в почве не только существенно возросло, но, подобно численности ранее рассмотренных микроорганизмов, пролонгированно увеличивалось по годам исследования (табл. 2).

Таблица 2

Динамика содержания подвижных соединений кремния в дерново-подзолистой почве опытного участка, подвергающейся действию диатомита (мг/кг почвы)

Вариант	2015 г.		2016 г.		2017 г.		В среднем за 3 года
	$M\pm m$	V	$M\pm m$	V	$M\pm m$	V	
Актуальный кремний (водная вытяжка, α -SiO ₂)							
Контроль	16±2	22	14±1	18	11±1	12	14
Д-1	29±1	5	36±3	15	40±2	11	35
Д-2	36±1	7	81±2	5	92±2	4	70
Д-3	34±2	10	75±2	7	88±3	6	66
F_f	44,74		165,16		1013,26		–
Потенциальный кремний (солянокислая вытяжка, β -SiO ₂)							
Контроль	213±9	8	201±4	4	206±5	5	207
Д-1	317±6	4	344±9	5	399±5	3	353
Д-2	523±25	9	619±17	6	642±10	3	595
Д-3	506±18	7	600±11	4	620±4	1	575
F_f	111,13		342,00		886,91		–

Выявлено, что наибольшее количество актуального и потенциального подвижного кремния в почве оказалось в варианте с внесением в почву 6 т/га породы. Здесь в первый год разница с контрольным значением составила 20 и 310 мг/кг, на второй год – 67 и 418 мг/кг, на третий – 81 и 436 мг/кг соответственно по актуальной и потенциальной формам. При этом чётко прослеживалось повышение степени влияния материала на содержание подвижных силикатов в почве по годам исследования, что, очевидно, связано с постепенным ежегодным усилением минерализации вещества породы и высвобождением в почвенный раствор анионов монокремниевой кислоты.

В среднем за три года количество водорастворимых соединений кремния (α -SiO₂) увеличилось в пять раз от второй дозы материала, кислоторастворимых соединений (β -SiO₂) – почти втрое. Также необходимо отметить, что эффективность взаимодействия породы с почвой была отражена в большей степени в отношении содержания актуальной формы кремния.

Расчётное количество активных соединений кремния в почве, показанное на рис. 1, увеличивалось только до варианта со второй дозой диатомита, оно было выдержано во времени и увеличивалось к третьему году опыта.

В среднем за годы исследования общее содержание доступных соединений кремния возрастало от двукратного на варианте с 3 т/га породы до почти четырёхкратного количества на вариантах с 6 т/га и 12 т/га от его контрольного содержания в почве. Полученные результаты взаимодействия высоких доз диатомита с дерново-подзолистой почвой позволили оценить её с бездефицитным балансом элемента по актуальной и активной формам, а также с низкодефицитным – по потенциальной форме [Perгу, Keeling-Rucker, 2000].

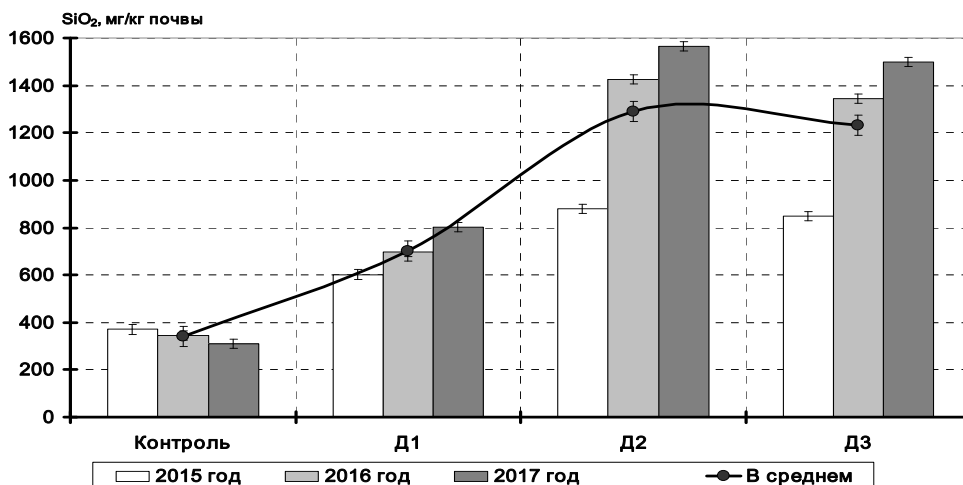


Рис. 1. Динамика содержания активных соединений кремния в дерново-подзолистой почве под действием диатомита, 2015–2017 гг. (F_j : 1 год – 168,09; 2 год – 296,27; 3 год – 2247,01; $F_t = 3,86$ – теоретический критерий Фишера при $n_t = 3$ и $p < 0,05$)

Исследования по влиянию диатомита в различных дозах на микробиологические свойства дерново-подзолистой почвы показали наличие корреляционной зависимости между рассматриваемыми параметрами (табл. 3). Во всех случаях коэффициент корреляции r был положительным, а все связи в целом характеризовались как тесные. В некоторых парах сопряжённость и изменчивость признаков закономерно не теряли функциональной зависимости при внесении в почву материала по годам опыта.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между численностью различных силикатных бактерий в дерново-подзолистой почве опытного участка и содержанием в ней подвижных соединений кремния

r^*	Силикат-деструктурирующая микробиологическая активность почвы											
	2015 г. Озимая пшеница				2016 г. Ячмень				2017 г. Горох			
	К	Д ₁	Д ₂	Д ₃	К	Д ₁	Д ₂	Д ₃	К	Д ₁	Д ₂	Д ₃
Численность силикатных бактерий												
α -SiO ₂	0,80	0,95	1,00	0,78	1,00	0,92	1,00	0,94	0,96	0,98	0,93	0,98
β -SiO ₂	0,92	0,89	0,98	0,78	1,00	0,86	0,93	0,98	0,99	0,93	0,98	0,77
Численность <i>B. mucilaginosus</i>												
α -SiO ₂	0,93	0,97	0,96	1,00	0,98	1,00	0,98	0,96	0,99	0,99	0,98	0,87
β -SiO ₂	0,87	0,97	0,98	1,00	0,99	0,97	0,98	0,93	0,97	0,99	0,99	1,00

* Полу жирным шрифтом выделены статистически существенные показатели.

Расчёты показали наличие практически прямой зависимости между количеством в почве обеих групп силикатных бактерий и содержанием в ней подвижных соединений кремния при внесении высоких доз диатомита. Однако на основе условия ($t_{r \text{ факт}} \geq t_{r \text{ теор}}$) в части наиболее выраженного действия породы на микробиологические свойства почвы из всех рассмотрен-

ных случаев существенными являлись корреляции между общей численностью силикатных бактерий и содержанием в почве водорастворимых форм кремния.

Численность *B. mucilaginosus* в опыте коррелировала в равной степени с обеими формами подвижного кремния в почве. Описанные выше изменения в почве, очевидно, происходили за счёт наличия в диатомите значительного количества активных соединений кремния, мобильно выходящих в почвенный раствор из его аморфных биоразлагаемых микроструктур.

Выводы

1. Трёхлетнее взаимодействие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с диатомитом Инзенского месторождения, однократно внесённым в высоких дозах, пролонгированно способствовало повышению его биодegradации со стороны комплекса силикатных бактерий и специфического вида *Bacillus mucilaginosus* с единовременным высвобождением в почвенный раствор значительного количества доступных соединений кремния.

2. Применение диатомита на дерново-подзолистых почвах, обладающих высоким уровнем дефицита активного кремнезёма, позволяет пополнить её минеральную составляющую биоразлагаемым субстратом, способствующим оптимизации питания литотрофной части почвенно-биотического комплекса.

3. Оценка показателей кремниевого состояния системы «почва – растение» должна включать определение содержания его подвижных и доступных для растений форм; в качестве дополнительного критерия рекомендуется использовать изменение численности различных групп силикатредуцирующих литотрофных микроорганизмов.

Список литературы

Биоморфный кремнезем в луговых почвах Среднеамурской низменности / Г. В. Харитонов, А. С. Манучаров, Л. А. Матюшкина, А. С. Стенина, З. Тюгай, Н. С. Коновалова, В. С. Комарова, Н. П. Чижикова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, Почвоведение. 2013. № 1. С. 37–45.

Боброва Е. К. Биогенный кремний почв сложного генезиса : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1995. 18 с.

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

Гольева А. А. Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. М. ; Сыктывкар ; Элиста, 2001. 120 с.

Гребенщикова Е. А., Юст Н. А., Пыхтеева М. А. Влияние химической мелиорации путем внесения золошлаковых отходов на физико-химические свойства почвы // Вестн. КрасГАУ. 2016. № 6 (117). С. 3–8.

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Альянс, 2011. 352 с.

Иванов А. Л., Волков С. Н., Савин И. Ю. Почвенно-экологические и инфраструктурные аспекты реализации стратегии развития агропроизводства в России // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2017. Вып. 89. С. 104–120.

Козлов А. В., Селицкая О. В. Значение микроорганизмов в поддержании устойчивости почв к воздействию антропогенных факторов // Вестн. Минин. ун-та. 2015. № 3 (11). С. 27.

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

Няникова Г. Г., Виноградов Е. Я. *Bacillus mucilaginosus*. Перспективы использования. СПб. : НИИСХ, СПбГУ, 2000. 124 с.

Оценка объёмов связывания углерода корнями риса под влиянием кремниевых удобрений / Дан-дан Зао, Пенг-бо Занг, Е. А. Бочарникова, В. В. Матыченок, Д. М. Хомяков, Е. П. Пахненко // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, Почвоведение. 2019. № 3. С. 17–22.

Подвижные кремниевые соединения в системе почва – растение и методы их определения / И. В. Матыченок, Д. М. Хомяков, Е. П. Пахненко, Е. А. Бочарникова, В. В. Матыченок // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, Почвоведение. 2016. № 3. С. 37–46.

Селибер Г. Л. Большой практикум по микробиологии. М. : Высш. шк., 1962. 492 с.

Соколова Т. А., Дронова Т. Я., Толпешта И. И. Глинистые минералы в почвах. Тула : Гриф и К, 2005. 336 с.

Соколова Т. А. Роль биоты в выветривании глинистых минералов // Глины, глинистые минералы и слоистые материалы. М. : ИГЕМ РАН, 2011. С. 20–21.

Сугаченко А. А., Лопатовская О. Г. Состав почвенных эколого-мелиоративных комплексов Верхнего Приангарья на примере Братского района Иркутской области // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2016. Т. 15. С. 80–88.

Biel K. Y., Matichenkov V. V., Fomina I. R. Protective role of silicon in living systems // Functional Foods for Chronic Diseases. Richardson : D&A Inc., 2008. Vol. 3. P. 208–231.

Kulikova A. Kh., Kozlov A. V., Toigildin A. L. Influence of silicon containing preparations on agrochemical properties of sod and podzolic soil and yielding capacity of crops // Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci. 2018. Vol. 9(2). P. 432–436.

Perry C. C., Keeling-Rucker T. Biosilicification: the role of the organic matrix in structure control // J. Biol. Inorg. Chem. 2000. Vol. 5. P. 537–550. <https://doi.org/10.1007/s007750000130>

Phylogenetic variation in the silicon (Si) composition of plants / M. J. Hodson, P. J. White, A. Mead, M. R. Broadley // Annals of Botany. 2005. Vol. 96. P. 1027–1046. <https://doi.org/10.1093/aob/mci255>

Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil–plant systems towards rivers: a review / J. T. Cornelis, B. Delvaux, R. B. Georg, Y. Lucas, J. Ranger, S. Opfergelt // Biogeosciences. 2011. Vol. 8 (1). P. 89–112. <https://doi.org/10.5194/bg-8-89-2011>

Activity of Silicate Bacteria and *Bacillus mucilaginosus* in Sod-Podzolic Soil Concerning Degradation of Diatomite of the Inzensky Field (Central Russia)

A. V. Kozlov¹, A. H. Kulikova², I. P. Uromova³

¹Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

²P. A. Stolypin Ulyanovsk State Agrarian University, Ulyanovsk, Russian Federation

Abstract. Three-year dynamics of complex of silicate bacteria number and specific type of *Bacillus mucilaginosus* in sod-podzolic sandy loamy soil under influence of diatomite of the Inzensky field in interdependence from contents in her mobile compounds of silicon is studied. Researches were conducted in soil and climatic conditions of the Nizhny Novgorod Region in form of microfield experiment, put for three years (2015-2017). For assessment of condition of

lithotrophic part of microbic pool of soil used to cup method of Koch and standard mineral nutrient mediums – Alexandrov-Zak agar for determination of total quantity of silicate microorganisms, selective medium of Nyanikova-Vinogradov for determination of *Bacillus mucilaginosus*. Content in soil of silicon mobile compounds was determined by a spectrophotometer method. Essential activation of representatives of both groups of silicate-destruction microorganisms (more than by 3 times) owing to introduction of the maximum dose of breed (12 t/hectare) is revealed that led to increase in contents in soil of mobile compounds of silicon (more than by 5 times in a water-soluble form and more than by 3 times in an acid soluble form). Against the background of average dose application of diatomite (6 t/ha) amount of actual and potential fraction of mobile silicon exceeded to control by years of research: by 20 and 310 mg/kg in the first year, by 67 and 418 mg/kg in the second year and by 81 and 436 mg/kg in the third year. This effect is due to gradual annual increase in mineralization of rock matter and the release of monosilicic acid anions into soil solution. General content of active silicon in soil increased almost by 4 times in relation to control. Existence of almost direct dependence between quantity in soil of silicate bacteria both groups and contents in her mobile compounds of silicon at introduction of high doses of diatomite is shown. Results of studying allow to regard diatomite breed as biodegradable natural material, is prolonged making active lithotrophic part of soil and biotic complex with simultaneous optimization of soil mineral matrix amorphous compounds of silicon dioxide. Presented changes, which have happened in soil, obviously, have been caused by existence in diatomite of significant amount of active compounds of silicon, mobile leaving in soil solution his amorphous biodegradable microstructures. Assessment of silicon state of soil-plant system should include determination of content of its mobile and plant-accessible forms; as an additional criterion, it is recommended to use change in number of different groups of silicate-reducing lithotrophic microorganisms.

Keywords: sod-podsolic soil, diatomite, silicate bacteria, biochemical degradation of breed, mobile compounds of silicon.

For citation: Kozlov A.V., Kulikova A.H., Uromova I.P. Activity of Silicate Bacteria and *Bacillus mucilaginosus* in Sod-Podsolic Soil Concerning Degradation of Diatomite of the Inzensky Field (Central Russia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2019, vol. 29, pp. 3-14. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.29.3> (in Russian)

References

- Kharitonova G.V., Manucharov A.S., Matyushkina L.A., Stenina A.S., Tyugay Z., Konovalova N.S., Komarova V.S., Chizhikova N.P. Biomorfnyi kremnezem v lugovykh pochvakh Sredneamurskoi nizmennosti [Biomorphic silicon dioxide in meadow soils of the Sredneamursky lowland]. *J. Moscow Univ. Series 17, Soil Science*, 2013, no. 1, pp. 37-45. (in Russian)
- Bobrova E.K. *Biogennyi kremnii pochv slozhnogo genezisa* [Biogenous silicon of soils of difficult genesis: Candidate in Biology dissertation abstract]. Moscow, 1995, 18 p. (in Russian)
- Bocharnikova E., Matychenkov V.V., Matychenkov I.V. Kremniyevye udobreniya i melioranty: istoriya izucheniya, teoriya i praktika primeneniya [Silicon fertilizers and ameliorants: history of studying, theory and practice of application]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], 2011, no. 7, pp. 84-96. (in Russian)
- Golyeva A.A. *Fitolity i ikh informatsionnaya rol' v izuchenii prirodnykh i arkhologicheskikh ob"ektov* [Phytolites and their information role in studying of natural and archaeological objects]. Moscow, Syktyvkar, Elista, 2001, 120 p. (in Russian)
- Grebenshchikova E.A., Yust N.A., Pykhteeva M.A. Vliyanie khimicheskoi melioratsii putem vnesheniya zoloshlakovykh otkhodov na fiziko-khimicheskie svoystva pochvy [Influence of chemical melioration by introduction of cinder waste on physical and chemical properties of the soil]. *Bul. Krasnoyarsk St. Agr. Univ.*, 2016, no. 6 (117), pp. 3-8. (in Russian)

Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [A technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of researches)]. Moscow, Alliance Publ., 2011, 352 p. (in Russian)

Ivanov A.L., Volkov S.N., Savin I.Yu. Pochvenno-ekologicheskie i infrastrukturnye aspekty realizatsii strategii razvitiya agroproduktstva v Rossii [Soil and ecological and infrastructure aspects of implementation of the strategy of development of agroproduction in Russia]. *Dokuchayev Soil Bul.*, 2017, vol. 89, pp. 104-120. (in Russian)

Kozlov A.V., Selitskaya O.V. Znachenie mikroorganizmov v podderzhanii ustoichivosti pochv k vozdeystviyu antropogennykh faktorov [Value of microorganisms in maintenance of resistance of soils to influence of anthropogenic factors]. *Bull. Minin Univ.*, 2015, no. 3 (11), p. 27. (in Russian)

Kulikova A.H. *Kremnii i vysokokremnistye porody v sisteme udobreniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Silicon and high-siliceous breeds in the system of fertilizer of crops]. Ulyanovsk, Ulyanovsk St. Agr. Acad. Publ., 2013, 176 p. (in Russian)

Nyanikova G.G., Vinogradov E.Ya. *Bacillus mucilaginosus. Perspektivy ispol'zovaniya* [Bacillus mucilaginosus. Prospects of use]. St-Petersburg, St-Petersburg St. Univ. Publ., 2000, 124 p. (in Russian)

Zao Dan-dan, Zang Peng-bo, Bocharnikova E.A., Matychenkov V.V., Homyakov D.M., Pakhnenko E.P. Ocenka ob'emov svyazyvaniya ugleroda kornyami risa pod vliyaniem kremnievykh udobrenij [The evaluation of the carbon sequestration by rice roots under silicon fertilization]. *J. Moscow Univ. Series 17: Soil Science*, 2019, no. 3, pp. 17-22. (in Russian)

Matychenkov I.V., Homyakov D.M., Pakhnenko E.P., Bocharnikova E.A., Matychenkov V.V. Podvizhnye kremnievye soedineniya v sisteme pochva – rastenie i metody ikh opredeleeniya [Mobile silicon connections in system soil-plant and methods of their definition]. *J. Moscow Univ. Series 17, Soil Science*, 2016, no. 3, pp. 37-46. (in Russian)

Seliber G.L. *Bolshoi praktikum po mikrobiologii* [Big workshop on microbiology]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1962, 492 p. (in Russian)

Sokolova T.A., Dronova T.Ya., Tolpeshta I.I. *Glinistye mineraly v pochvakh* [Clay minerals in soils]. Tula, Grif Publ., 2005, 336 p. (in Russian)

Sokolova T.A. Rol bioty v vyvetrivanii glinistykh mineralov [A biota role in aeration of clay minerals]. *Gliny, glinistye mineraly i sloistye materialy* [Clays, clay minerals and layered materials]. Moscow, IHAM RAS Publ., 2011, pp. 20-21. (in Russian)

Sugachenko A.A., Lopatovskaya O.G. Sostav pochvennykh ekologo-meliorativnykh kompleksov Verkhnego Priangar'ya na primere Bratskogo raiona Irkutskoi oblasti [Structure of soil ecology-meliorative complexes of the Upper Angara region on example of the Bratsk district of the Irkutsk region]. *Bull. Irkutsk. St. Univ. Ser. Biol. Ekol.*, 2016, vol. 15, pp. 80-88. (in Russian)

Biel K.Y., Matichenkov V.V., Fomina I.R. Protective role of silicon in living systems. *Functional Foods for Chronic Diseases*. Richardson, D&A Inc., 2008, vol. 3, pp. 208-231.

Kulikova A.Kh., Kozlov A.V., Toigildin A.L. Influence of silicon containing preparations on agrochemical properties of sod and podzolic soil and yielding capacity of crops. *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.*, 2018, vol. 9, no. 2, pp. 432-436.

Perry C.C., Keeling-Rucker T. Biosilicification: the role of the organic matrix in structure control. *J. Biol. Inorg. Chem.*, 2000, vol. 5, pp. 537-550. <https://doi.org/10.1007/s007750000130>

Hodson M.J., White P.J., Mead A., Broadley M.R. Phylogenetic variation in the silicon (Si) composition of plants. *Annals of Botany*, 2005, vol. 96, pp. 1027-1046. <https://doi.org/10.1093/aob/mci255>

Cornelis J.T., Delvaux B., Georg R.B., Lucas Y., Ranger J., Opfergelt S. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review. *Biogeosciences*, 2011, vol. 8, no. 1, pp. 89-112. <https://doi.org/10.5194/bg-8-89-2011>

Козлов Андрей Владимирович
кандидат биологических наук, доцент
Нижегородский государственный
педагогический университет им. К. Минина
Россия, 603950, г. Нижний Новгород,
ул. Ульянова, 1
e-mail: a_v_kozlov@mail.ru

Kozlov Andrey Vladimirovich
Candidate of Science (Biology),
Associate Professor
Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical
University
1, Ulyanova st., Nizhny Novgorod, 603950,
Russian Federation
e-mail: a_v_kozlov@mail.ru

Куликова Алевтина Христофоровна
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Ульяновский государственный аграрный
университет имени П. А. Столыпина
Россия, 432017, г. Ульяновск,
б-р Новый Венец, 1
e-mail: agroec@yandex.ru

Kulikova Alevtina Hristoforovna
Doctor of Science (Agriculture), Professor
Stolypin Ulyanovsk State Agricultural
University
1, Noviy Venets b-d, Ulyanovsk, 432017,
Russian Federation
e-mail: agroec@yandex.ru

Уромова Ирина Павловна
доктор сельскохозяйственных наук,
доцент
Нижегородский государственный
педагогический университет им. К. Минина
Россия, 603950, г. Нижний Новгород,
ул. Ульянова, 1
e-mail: uromova2012@yandex.ru

Uromova Irina Pavlovna
Doctor of Science (Agriculture),
Associate Professor
Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical
University
1 Ulyanova st., Nizhny Novgorod, 603950,
Russian Federation
e-mail: uromova2012@yandex.ru

Дата поступления: 23.01.2019
Received: January, 23, 2019