

УДК 579.222.4:550.72:631.823

**ПРОДУКТЫ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В БАКТЕРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ  
«ПОРОДА-КУЛЬТУРА» ПРИ БИОХИМИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИИ  
СИЛИКАТНЫМИ БАКТЕРИЯМИ ДИАТОМИТА, ЦЕОЛИТА И БЕНТОНИТА**

© 2017 А.В. Козлов<sup>1</sup>, А.Х. Куликова<sup>2</sup>, И.П. Уромова<sup>1</sup><sup>1</sup>Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина<sup>2</sup>Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина

Статья поступила в редакцию 15.05.2017

В работе представлены результаты лабораторных экспериментов по процессу бактериальной деградации природных высококремнистых пород (диатомит Инзенского месторождения, цеолит Хотынецкого месторождения, бентонит Зырянского месторождения), биохимическое разрушение которых приводит к выщелачиванию фосфатов, силикатов и кальция в раствор. В исследованиях использовалась накопительная культура комплекса силикатных бактерий, а также чистая культура *Bacillus Mucilaginosus*, биохимическое действие которой сравнивалось со штаммом В-2609 (ВКПМ, ГосНИИгенетика). Бактерии выделялись из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы Нижегородской области. Результатом исследований явилась 30-дневная динамика системы «порода-культура» в части изменения концентраций чистого микробного выщелачивания фосфора, кремния и кальция в бактериальную суспензию при биохимической деградации вещества кремнийсодержащих материалов. Описанная способность микробных комплексов к прямому разрушению пород может свидетельствовать об их активном участии в деструкции вносимых в почву веществ с последующим высвобождением в почвенный раствор различных элементов.

Ключевые слова: *диатомит, цеолит, бентонитовая глина, силикатные бактерии, Bacillus Mucilaginosus, бактериальная деградация пород, продукты выщелачивания, фосфаты, силикаты, кальций, дерново-подзолистая почва*

К настоящему времени накоплено достаточно много сведений о способности и особенностях различных бактерий в деструкции минералов [1-6]. Причиной тому в основном является химическая активность большого количества разнообразных продуктов метаболизма, образующихся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. При их накоплении в микроконкрециях породы или почвенных агрегатах происходят процессы выщелачивания вещества в растворимое состояние. В качестве таких метаболитов обычно выступают экзополисахариды, ферменты гидролазного и оксидоредуктазного типов, а также органические кислоты (галловая, щавелевая, лимонная, салициловая, пирокатехиновая, изомеры бензойной кислоты и многие другие) [7-9]. В биологических исследованиях почв широко известен факт прямого участия всех микробиотических представителей как в первичной деструкции почвообразующих пород, так и в формировании профиля почвенного тела [10-14]. При этом есть данные об участии низкомолекулярных органических кислот – метаболитов сапротрофных и литотрофных бактерий в разрушении силикатных и алюмосиликатных пород, в результате чего

почвенный раствор обогащается ионами и лигандами элементов, принимающих участие, как в элементарных почвенных процессах, так и в формировании свойств естественного плодородия гумусо-аккумулятивного горизонта [15-19].

**Новизна и цель исследования.** В практике почвоведения, к сожалению, пока недостаточно сведений о прямом участии некоторых родов почвообитающих микроорганизмов в деградации веществ, используемых в качестве удобрений и почвенных кондиционеров [14, 20]. В том числе данный пробел имеется и в отношении эффектов от прямого (без участия собственно почвенного вещества) биохимического воздействия силикатных бактерий, выделенных из конкретных природных биогеоценозов, на вещество высококремнистых пород – диатомита, цеолита и бентонитовой глины.

**Цель работы:** раскрытие потенциального действия накопительной природной культуры силикатных бактерий, а также чистой культуры *Bacillus Mucilaginosus*, выделенных из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы Нижегородской области, на вещество природных кремнийсодержащих пород, которые используются в наших полевых исследованиях в качестве удобрений и почвенных кондиционеров.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводились в 2017 г. на базе научно-образовательного центра «Биотехнология» и лабораторного комплекса «Эколого-аналитическая лаборатория мониторинга и защиты окружающей среды» Мининского университета в виде серии постановочных лабораторных экспериментов с

Козлов Андрей Владимирович, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологического образования и рационального природопользования. E-mail: a\_v\_kozlov@mail.ru  
Куликова Алевтина Христофоровна, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой «Почвоведение, агрохимия и агроэкология». E-mail: agroec@yandex.ru  
Уромова Ирина Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биологии, химии и биохимического образования. E-mail: uroмова2012@yandex.ru

природными кремнийсодержащими породами. Данные материалы подвергались микробиологической деградации чистой культурой *Bacillus Mucilaginosus* и накопительной культурой комплекса силикатных бактерий, выделенных из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы природного биогеоценоза (лесной массив Борского района Нижегородской области).

Объектами исследований являются кремнийсодержащие породы – диатомит Инзенского месторождения (Ульяновская область), цеолит Хотынецкого месторождения (Орловская область) и бентонитовая глина Зырянского месторождения (Курганская область), обобщенный химический состав которых представлен в табл. 1.

**Таблица 1.** Обобщенный химический состав высококремнистых пород

Порода	ИЕ*	Элемент в оксидной форме (на абс.-сух. вещество)				
		SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Диатомит	80					
- валовая форма, %		83,1	0,05	1,25	0,52	0,48
- подвижная форма, мг/кг		12200	37	350	10	39
Цеолит	48					
- валовая форма, %		56,6	0,23	1,82	13,3	1,90
- подвижная форма, мг/кг		7950	260	250	4800	1600
Бентонит	150					
- валовая форма, %		52,3	0,12	0,92	5,5	3,2
- подвижная форма, мг/кг		10500	165	87	46,1	14,2

Примечание: \* – ионообменная емкость, мг-экв./100 г

Накопительную культуру комплекса силикатных бактерий получали путем засева стерильной жидкой питательной среды Александра-Зака (САЗ) навеской подготовленной почвы и культивирования бактериальной биомассы в термостате в течение 7 суток при температуре +26°C. Чистую природную культуру *Vac. Mucilaginosus* получали аналогичным способом в виде двойного пересева идентифицированных клеток на селективной жидкой питательной среде Няниковой-Виноградова (СНВ) [21]. Для сравнения биохимической активности природной клетки *Vac. Mucilaginosus* использовали условный эталон – аналогичную бактерию штамма В-2609, лиофилизат которого был закуплен во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (ФГУП «ГосНИИгенетика»). Первичная биомасса данного штамма была получена аналогичным с природными клетками образом при его двукратном культивировании на L-среде (СЛ) в соответствии с рекомендациями изготовителя. Затем производился засев испытуемых пород полученными бактериальными комплексами. опыты ставили в стерильных конических колбах на 100 мл, в которые асептически помещалось по 40 мл селективной жидкой питательной среды и точно по 1,000 г высушенной кремнийсодержащей породы, после чего полученная система асептически заседалась 10 мл суспензии 7-и суточной накопительной культуры силикатных бактерий, а также чистой культуры природного и штаммового вариантов *Vac. Mucilaginosus*. В качестве контроля для каждой системы «порода-культура» использовалась стерильная питательная среда с навеской стерильной породы без засева бактериями. На основании данных, полученных с контрольных колб, оценивалась химическая минерализация кремниевых материалов под

действием температуры, воды и компонентов питательных сред.

Засеянные колбы помещались в термостат и культивировались при +26°C в течение 30 суток; 2 раза в сутки содержимое колб встряхивалось в течение 1-го часа. Через определенные интервалы времени (на 1, 3, 5, 7, 10, 12, 15, 20, 25 и 30 день) производили химические замеры содержимого колб. В системе «порода-культура» определялась кислотность микробной суспензии потенциометрическим методом с помощью рН-метра МАРК-903; содержание растворимых соединений фосфора и кремния спектрофотометрическим методом; содержание растворимого кальция определялось комплексонометрическим титрованием с трилоном Б по традиционным химико-аналитическим прописям [22]. Математическая обработка результатов исследований выполнена методами вариационной статистики с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007; повторность в опытах четырехкратная.

**Результаты исследований.** На рис. 1 представлена 30-дневная динамика содержания в системе «порода-культура» растворимых фосфатов при минерализации высококремнистых пород в зависимости от чистой природной культуры и штамма В-2609 *Bacillus Mucilaginosus*, принятого за условный эталон.

Нужно сказать, что чистая культура *Vac. Mucilaginosus*, выделенная из дерново-подзолистой почвы, в течение всей экспозиции эксперимента в большей степени способствовала выщелачиванию фосфатов из бентонитовой глины. В этой системе содержание растворимого фосфора колебалось от 5,3 до 67,3 мкг/мл. В немного меньшей мере культура силикатных бацилл способствовала высвобождению фосфатов из диатомовой породы – от 10,6 до



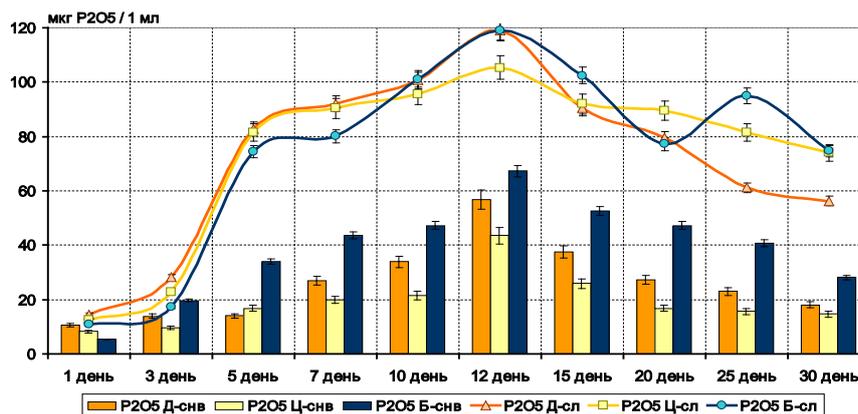


Рис. 1. Динамика чистого микробного выщелачивания фосфора при деградации кремнийсодержащих пород природной культурой (СНВ) и штаммом В-2609 *Bacillus Mucilaginosus* (СЛ)

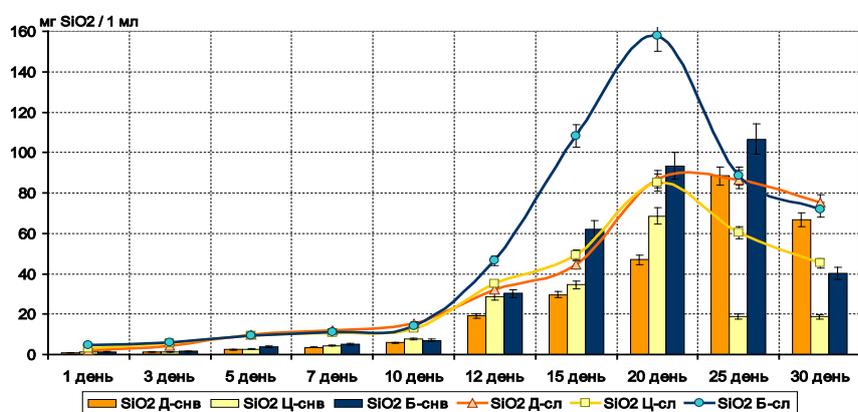


Рис. 2. Динамика чистого микробного выщелачивания кремния при деградации кремнийсодержащих пород природной культурой (СНВ) и штаммом В-2609 *Bacillus Mucilaginosus* (СЛ)

В целом во всех экспериментах было установлено, что помимо активного бактериального выщелачивания из пород таких элементов как фосфор и кальций деятельность *Vac. Mucilaginosus* в большей степени затрагивала процесс высвобождения в раствор из пород кремния. Так, уже на 5-й день после засева почвенной культурой питательной среды с диатомитом содержание растворимого кремния в системе «порода-культура» составляло  $2,46 \pm 0,03$  мг/мл ( $V=2,1\%$ ); на варианте с цеолитом данное значение составляло  $2,73 \pm 0,03$  мг/мл ( $V=2,5\%$ ), а на варианте с бентонитом оно было наибольшим –  $3,85 \pm 0,04$  мг/мл ( $V=2,1\%$ ). На 10-й день культивирования значения составили уже  $5,84 \pm 0,09$  мг/мл ( $V=3,0\%$ ),  $7,62 \pm 0,07$  мг/мл ( $V=1,9\%$ ) и  $7,05 \pm 0,09$  мг/мл ( $V=2,5\%$ ) соответственно на вариантах с диатомовой, цеолитовой и бентонитовой породами.

Штамм В-2609 бактерии *Vac. Mucilaginosus*, принятый в качестве условного эталона основной функции биохимической деградации высококремнистых пород и выщелачивания кремния в раствор, на 5-й и 10-й день культивирования активно способствовал высвобождению кремния в раствор системы «порода-культура» в количествах, равных  $9,84 \pm 0,13$  мг/мл ( $V=2,6\%$ ) и  $15,41 \pm 0,41$  мг/мл ( $V=5,3\%$ )

из диатомита;  $9,31 \pm 0,14$  мг/мл ( $V=2,9\%$ ) и  $12,83 \pm 0,27$  мг/мл ( $V=4,2\%$ ) из цеолита;  $9,45 \pm 0,08$  мг/мл ( $V=1,8\%$ ) и  $13,95 \pm 0,19$  мг/мл ( $V=2,8\%$ ) из бентонитовой глины. Однако при дальнейшем культивировании бактериальных суспензий выщелачивание кремния резко возрастало вплоть до 25-го дня на вариантах с природной культурой бацилл и до 20-го дня на вариантах со штаммом В-2609. При этом в зависимости от породы сила выщелачивания силикатов была различной. Например, в части деградации диатомита природная культура *Vac. Mucilaginosus* и штамм В-2609 практически не отличались биохимической активностью – на 20-й и 25-й день содержание  $SiO_2$  в суспензиях составляло  $86,95$ – $88,40$  мг/мл. Однако на варианте с цеолитом и бентонитовой породой данные значения составили  $68,53$  и  $85,16$  мг/мл и  $106,60$  и  $158,02$  мг/мл. Очевидно, что для *Vac. Mucilaginosus* штамма В-2609 цеолит и бентонитовая глина в большей степени доступны для выщелачивания силикатов в раствор в сравнении с природной культурой бактерии. На рис. 3 показана 30-дневная динамика содержания в системе «порода-культура» растворимых соединений кальция при минерализации высококремнистых пород изучаемыми культурами *Bacillus Mucilaginosus*.

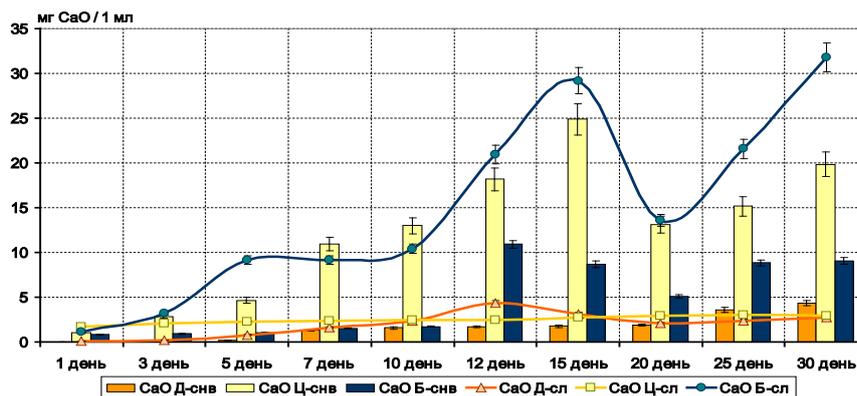


Рис. 3. Динамика чистого микробного выщелачивания кальция при деградации кремнийсодержащих пород природной культурой (CHB) и штаммом В-2609 *Bacillus Mucilaginosus* (СЛ)

Нужно отметить, что чистая культура *Vac. Mucilaginosus*, выделенная из дерново-подзолистой почвы, в течение всей экспозиции эксперимента в большей степени способствовала выщелачиванию кальция из цеолита. В данной системе содержание растворимого кальция колебалось от 1,03 до 24,86 мг/мл. В меньшей мере культура силикатных бактерий способствовала высвобождению CaO из бентонитовой породы – от 0,81 до 10,92 мг/мл, а их минимальная биохимическая активность прослеживалась в отношении диатомита – от 0,02 до 4,32 мг/мл. Однако штамм В-2609 исследуемой *Vac. Mucilaginosus*, хоть и характеризовался более высокой биохимической активностью в части выщелачивания кальция, но в меньшей силе в сравнении с высвобождением фосфатов и только в отношении диатомита и бентонитовой глины. Так, на варианте с диатомитом наибольшее количество растворенного кальция в бактериальной суспензии составило 4,36 мг/мл на 12-й день, на варианте с бентонитом – 29,19 мг/мл на 15-й день и 31,82 мг/мл на 30-й день. На варианте с цеолитом содержание CaO в суспензии оказалось наименьшим и составило 2,93-3,00 мг/мл на конец экспозиции эксперимента. Примечательно также отметить, что микробная активность данных бактерий показывала двойные пики, которые были отмечены на 12-й и 15-й, а также на 25-й и 30-й дни экспозиции системы «порода-

культура». Рис. 4 описывает содержание растворимых соединений фосфора и кальция в системе «порода-культура» при динамической деградации высококремнистых пород накопительной культурой комплекса силикатных бактерий из дерново-подзолистой почвы.

Микробная активность высвобождения фосфатов от комплекса силикатных бактерий показывала двойные пики на варианте с диатомитом и цеолитом – до 43,6 и 77,3 мкг/мл соответственно на 12-й и 25-й день в отношении диатомита и до 112,6 и 157,1 мг/мл соответственно на 12-й и 20-й день в отношении цеолита. На варианте с бентонитовой глиной максимальная концентрация растворенных фосфатов в системе отмечалась на 15-й день и составила 54,2 мкг/мл.

В части биохимического выщелачивания соединений кальция в систему «порода-культура» от действия комплекса силикатных бактерий на среде Александра-Зака нужно сказать, что, как и в случае с чистыми культурами *Vac. Mucilaginosus*, рассматриваемые микроорганизмы в большей степени способствовали высвобождению элемента из цеолитовой породы. Здесь наибольшее накопление CaO в суспензии отмечалось на 12-й день и составило 32,96 мг/мл, в то время как на варианте с диатомитом – 12,79 мг/мл, а на варианте с бентонитовой глиной – 14,82 мг/мл.

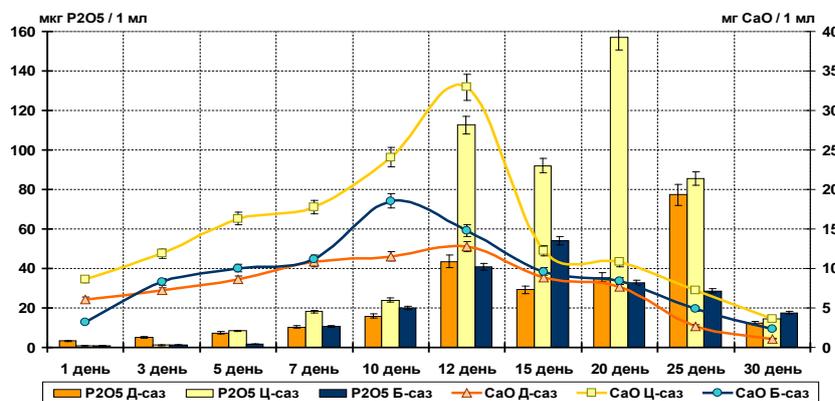
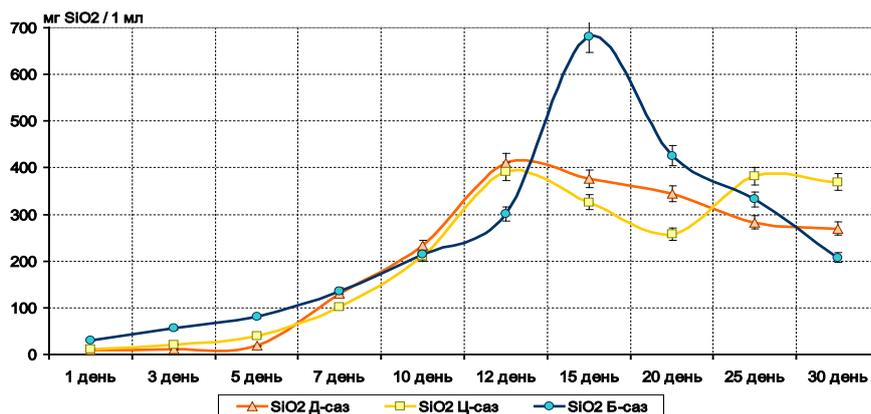


Рис. 4. Динамика чистого микробного выщелачивания фосфора и кальция при деградации кремнийсодержащих пород накопительной культурой комплекса силикатных бактерий (САЗ)



**Рис. 5.** Динамика чистого микробного выщелачивания кремния при деградации кремнийсодержащих пород накопительной культурой комплекса силикатных бактерий (САЗ)

На рис. 5 представлена 30-дневная динамика содержания в системе «порода-культура» растворимых силикатов при минерализации высококремнистых пород накопительной культурой силикатных бактерий. В варианте с диатомовой и цеолитовой породами содержание растворенного кремния в суспензии равномерно увеличивалось до 12-го дня, после чего оставалось примерно на одном уровне – в диапазоне 269,8-410,9 мг/мл в отношении диатомита и в диапазоне 369,6-392,3 мг/мл в отношении цеолита. Система с бентонитом характеризовалась наличием пика концентрации растворенных силикатов на 15-й день культивирования, которая составила 681,3 мг/мл, который из всех рассмотренных вариантов с породами был самым наибольшим.

Известно [23-24], что биохимическая деятельность бактерий сопровождается выделением в

окружающую среду разнообразных метаболитов органического состава – ферменты, полисахариды, липиды, органические кислоты и многие другие вещества. Данными свойствами обладают, в том числе и почвообитающие силикатные бактерии [3, 21, 25-26]. В результате выполнения ими основных функций по деструкции первичных и вторичных минералов почвы в почвенный раствор выделяется большое количество органических кислот и полисахаридов, которые обладают кислой реакцией среды и способны влиять на pH системы на микроколичественном уровне. В табл. 2 показана 30-дневная динамика кислотности системы «порода-культура» в зависимости от изучаемого кремнийсодержащего материала и вида силикатных бактерий.

**Таблица 2.** Динамика кислотности системы «порода-культура» из кремнийсодержащих пород и различных силикатных бактерий

рН, ед. рН	День учета кислотности									
	1	3	5	7	10	12	15	20	25	30
<i>Bacillus Mucilaginosus</i> , природная чистая культура (среда Няниковой-Виноградова)										
Диатомит	3,92	4,63	4,81	4,80	4,79	4,62	4,90	5,10	6,23	7,10
Цеолит	4,02	4,13	4,39	4,23	4,26	4,29	4,30	4,32	4,33	4,55
Бентонит	4,85	5,10	5,33	5,38	6,41	6,18	6,77	7,13	7,59	8,01
<i>Bacillus Mucilaginosus</i> , штамм В-2609 (L-среда)										
Диатомит	8,45	8,56	8,71	8,58	8,63	8,76	8,94	9,02	8,87	8,79
Цеолит	8,53	8,62	8,80	8,74	8,63	8,55	8,78	8,95	8,74	8,56
Бентонит	8,60	8,76	8,81	8,72	8,70	8,54	8,79	9,08	8,99	8,85
Нкультура комплекса силикатных бактерий (среда Александрова-Зака)										
Диатомит	4,60	4,70	4,97	4,73	4,59	5,18	4,36	4,19	4,17	4,21
Цеолит	4,63	5,11	5,02	4,88	4,66	4,51	4,44	4,32	4,47	4,57
Бентонит	5,26	5,83	6,39	6,04	5,17	5,99	4,84	4,68	4,71	4,82

Нужно отметить, что вариант с бентонитовой глиной в случае всех действующих на нее микроорганизмов характеризовался наибольшим значением рН в сравнении с вариантом с диатомовой и цеолитовой породами, что, по-видимому, могло быть связано с исходными характеристиками самого бентонита. Пики максимального увеличения рН систем приходились, как правило, на 5-й и 12-й день

экспозиции, а также на ее конец (20-й и 30-й день), что, очевидно, могло быть связано как с колебанием численности живых клеток и, как следствие, с метаболизмом в систему продуктов жизнедеятельности, в том числе экзоферментов, полисахаридов и различных органических кислот. Кроме того, по данным табл. 2 видно, что кислотность всех систем стремилась в сторону нейтрального и слабощелочного

диапазонов, что, очевидно, связано с растворением Са- и Mg-содержащих микроструктур исследуемых материалов [27]. В связи с этим можно предположить, что рассмотренная выше динамика содержания растворимых соединений фосфора, кремния и кальция в системах «порода-культура» могла быть сопряжена не только с прямым действием метаболитов на вещество пород, но в том числе и с образованием нерастворимых оснований, а также фосфатов и карбонатов металлов, последние из которых изначально присутствуют как в составе питательных сред, так и в веществе пород.

**Выводы:** описана способность силикатных бактерий (в том числе *Bacillus Mucilaginosus*), выделенных из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы Нижегородской области, проводить минерализацию кремнийсодержащих материалов (диатомит Инзенского месторождения, цеолит Хотынецкого месторождения, бентонит Зырянского месторождения) с высвобождением в растворимое состояние фосфатов, силикатов и кальция. Из цеолита высвобождается наибольшее количество кальция (до 24,86 мг/мл и до 32,96 мг/мл) и фосфора (до 157,1 мкг/мл) при биохимическом участии чистой природной культуры *Vac. Mucilaginosus* и накопительной культуры силикатных бактерий соответственно. При биохимической деградации чистой культурой *Vac. Mucilaginosus* и комплексом силикатных бактерий бентонитовой глины высвобождаются максимальные концентрации фосфора (до 67,3 мкг/мл) и кремния (до 106,60 мг/мл и до 681,3 мг/мл). Бактериальное разрушение диатомовой породы, в первую очередь, сопровождается растворением фосфатов (до 56,8 мкг/мл) и силикатов (до 88,40 мг/мл) от действия соответственно природной культуры *Vac. Mucilaginosus* и накопительной культуры силикатных бактерий. Таким образом, на основании прямого воздействия метаболизма различных силикатных микроорганизмов, выделенных из почвы, на вещество природных высококремнистых материалов можно говорить об их активном участии в деградации последних при их внесении в почву с последующим высвобождением в почвенный раствор различных элементов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Белканова, Н.П. Разрушение силоксанной связи кварца *Bacillus Mucilaginosus* / Н.П. Белканова, Г.И. Каравайко, З.А. Авакян // Микробиология. 1985. № 1. С. 27-30.
2. Зыкина, Л.В. Разложение минералов под влиянием *Aspergillus Niger* // Почвоведение. 1982. № 1. С. 131-137.
3. Каравайко, Г.И. Микробная деструкция силикатных минералов // Юбилейный сборник научных трудов к 30-летию Института микробиологии имени Виноградского. – М., 2004. Вып. 12. С. 172-196.
4. Малиновская, И.М. Влияние экзополисахарида *Bacillus Mucilaginosus* на деструкцию хлорита и кварца в растворе органических кислот / И.М. Малиновская, В.С. Подгорский // Микробиологический журнал. 1988. Т. 50. № 5. С. 21-25.
5. Нетрусов, А.И. Микробиология / А.И. Нетрусов, И.Б. Котова. – М.: Академия, 2006. 352 с.
6. Wuxing, L. Decomposition of silicate minerals by *Bacillus Mucilaginosus* in liquid culture / Liu Wuxing et al. // Environmental Geochemistry and Health. 2006. № 28. P. 133-140.
7. Куис, Л.В. Накопление кислот в культуральной жидкости бактерий рода *Bacillus* / Л.В. Куис, Р.М. Маркевич // Труды БГТУ. Серия 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2008. № 4. Т. 1. С. 195-198.
8. Ласик, Я. Комплексообразование полисахаридов почвенных бактерий с металлами / Я. Ласик, С.А. Гордиенко // Почвоведение. 1977. № 4. С. 92-98.
9. Роль полисахарида *Bacillus Mucilaginosus* в процессе деструкции силикатных минералов / И.М. Малиновская [и др.] // Микробиология. 1990. Т. 59. Вып. 1. С. 70-78.
10. Аристовская, Т.В. Микроорганизмы как индикаторы процессов аккумуляции железа, алюминия и марганца в почвах / Т.В. Аристовская, Л.В. Зыкина // Почвоведение. 1979. № 1. С. 88-96.
11. Безбородов, А.М. Микробиологический синтез / А.М. Безбородов, Г.И. Квеситадзе. – СПб.: Проспект Науки, 2011. 144 с.
12. Дагаран, А.Ю. Разложение железосодержащих минералов почвенными микроорганизмами // Почвоведение. 1971. № 9. С. 35-40.
13. Козлов, А.В. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах / А.В. Козлов, А.Х. Куликова, Е.А. Яшин // Вестник Мининского университета. 2015. № 2 (10). С. 23.
14. Матыченков, В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и в системе почва-растение: Автореф. дис. ... д.б.н. – Пушкино, 2008. 34 с.
15. Добровольский, Г.В. Экология почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Издательство МГУ, 2012. 412 с.
16. Зайдельман, Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. – М.: Издательство КДУ, 2009. 720 с.
17. Матыченков, В.В. Биогеохимический цикл Si в системе почва-растение / В.В. Матыченков, Е.А. Бочарникова // Функции почв в биосферно-геосферных системах. – М., 2001. С. 100-110.
18. Муха, В.Д. Естественнo-антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности). – М.: КолосС, 2004. 271 с.
19. Садунова, А.В. Общая характеристика бактерий рода *Bacillus*. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2014. 66 с.
20. Бочарникова, Е.А. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения / Е.А. Бочарникова, В.В. Матыченков, И.В. Матыченков // Агрохимия. 2011. № 7. С. 84-96.
21. Няникова, Г.Г. *Bacillus Mucilaginosus*. Перспективы использования / Г.Г. Няникова, Е.Я. Виноградов. – СПб.: НИИХ, С-ПбГУ, 2000. 124 с.
22. Биогеотехнология металлов: практическое руководство. – М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1989. 375 с.
23. Грачева, И.М. Биотехнология биологически активных веществ / И.М. Грачева, Л.А. Иванова. М.: Элевар, 2006. 453 с.
24. Пестова, О.В. Биосинтез экзополисахаридов бактериями *Bacillus Mucilaginosus* в глубинных условиях культивирования и новый аспект их использования: Автореф. дис. ... к.б.н. - СПб., 2000. 20 с.
25. Александров, В.Г. Силикатные бактерии – эффективное удобрение (обзор литературы) / В.Г. Александров, М.И. Терновская. – М.: ВИНТИСХ МСХ СССР, 1968. 84 с.
26. Куис, Л.В. Выделение, фракционирование и анализ экзополисахаридов *Bacillus Mucilaginosus* / Л.В. Куис,

Р.М. Маркевич // Труды БГТУ. Серия 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2009. № 4. Т. 1. С. 170-173.

27. Куис, Л.В. Новый штамм бактерий рода *Bacillus* и его воздействие на качественные характеристики глины /

Л.В. Куис и др. // Труды БГТУ. Серия 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2007. Вып. XV. С. 205-207.

## LEACHING PRODUCTS IN BACTERIAL BREED-CULTURE SYSTEM AT BIOCHEMICAL DEGRADATION BY SILICATE BACTERIA OF DIATOMITE, ZEOLITE AND BENTONITE

© 2017 A.V. Kozlov<sup>1</sup>, A.H. Kulikova<sup>2</sup>, I.P. Uromova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University

<sup>2</sup> Stolypin Ulyanovsk State Agricultural Academy

In work results of laboratory experiments on process of bacterial degradation of natural high-siliceous breeds (diatomite of the Inzensky field, zeolite of the Hotynetsky field, bentonite of the Zyrian field) which biochemical destruction leads to leaching of phosphates, silicates and calcium in solution are presented. In researches the accumulative culture of a complex of silicate bacteria, and also true culture of *Bacillus Mucilaginosus* which biochemical action was compared to V-2609 strain was used (VKPM, Gosniigenetika). Bacteria were allocated from the cespitose and podsolic sandy loam soil of the Nizhny Novgorod Region. 30-day dynamics of the breed culture system regarding change of concentration of pure microbic leaching of phosphorus, silicon and calcium in bacterial suspension at biochemical degradation of substance of siliceous materials was result of researches. The described ability of microbic complexes to direct destruction of breeds can demonstrate their active participation in destruction of the substances brought in the soil with the subsequent release in soil solution of various elements.

Key words: *diatomite, zeolite, bentonite clay, silicate bacteria, Bacillus Mucilaginosus, bacterial degradation of breeds, leaching products, phosphates, silicates, calcium, cespitose and podsolic soil*

---

Andrey Kozlov, Candidate of Biology, Associate Professor at the Ecological Education and Rational Nature Management Department. E-mail: a\_v\_kozlov@mail.ru  
Alevtina Kulikova, Doctor of Agriculture, Head of the Department "Soil Science, Agrochemistry and Agroecology". E-mail: agroec@yandex.ru  
Irina Uromova, Doctor of Agriculture, Professor at the Department of Biology, Chemistry and Biological-Chemical Education. E-mail: uromova2012@yandex.ru