

ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТА НА ФОСФАТРЕДУЦИРУЮЩУЮ ФУНКЦИЮ
МИКРОБИОЦЕНОЗА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ
И СОДЕРЖАНИЕ В НЕЙ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРАА.В. КОЗЛОВ¹, А.Х. КУЛИКОВА², И.П. УРОМОВА¹¹ Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина;² Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина)

Одной из первоочередных задач современного агрономического почвоведения является изучение процессов почвенно-биотического преобразования материалов, используемых в качестве альтернативных удобрений, с последующей оценкой изменений как в питательном качестве состава почвенного раствора, так и в направлениях сдвига микробной функции ПБК. В связи с этим, данная работа посвящена изучению микробиологических характеристик дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в отношении биохимической функции трансформации ее органических и минеральных фосфатсодержащих компонентов, происходящей под действием цеолита Хотынецкого месторождения. Было проведено микрополевое исследование влияния высоких доз цеолитовой породы на показатели численности литотрофных и органотрофных фосфатредуцирующих микроорганизмов почвы и ее фосфатазную активность. Исследование показало, что количество почвообитающих литотрофов под действием цеолита в дозе 6 т/га возрастало в среднем в 2,6–3,0 раза, а органотрофов – на 80%. Кратность усиления фосфатазной активности почвы, обработанной породой в дозах 6 и 12 т/га, соответственно составляла 3,0 и 3,3 раза. Вследствие активизации фосфатредуцирующих микробных ассоциаций дерново-подзолистой почвы высококремнистым материалом содержание подвижных соединений фосфора увеличивалось от 22% до 43% в зависимости от дозы цеолита. Наличие тесной и пролонгированной по годам исследования корреляции между содержанием мобильных фосфатов в почве и численностью фосфатредуцентов убедительно подтверждает факт активного взаимодействия рассматриваемой породы с почвенно-биотическим комплексом и при этом позволяет расценивать ее как материал, стабилизирующий не только биодеградационные функции микробного пула, но и оптимизирующий почвенно-поглощающий комплекс за счет реакций обмена в коллоидной системе Si–P.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, цеолит, фосфатредуцирующая функция микробиоценоза, активность фосфатаз, содержание подвижных соединений фосфора.

Введение

Одним из главных направлений развития современного агропроизводства нашей страны является экологически сбалансированное развитие химизации земледелия [7, 13, 19], в том числе при помощи альтернативных источников минерального питания сельскохозяйственных культур и стабилизации свойств почвенно-поглощающего комплекса и микробиоценозов [9, 18, 27].

Поскольку уровень содержания в почвах доступных форм фосфора является одним из ведущих критериев устойчивого функционирования системы

«почва-растение» [16, 20], в современной практике агрономического почвоведения актуальным вопросом почвенной химии является сохранение и пополнение фонда доступных фосфатов. Однако сложность решения данных вопросов обусловлена тем фактом, что трансформация соединений фосфора в почвах заключается в достаточно малой его ассимиляции агрофитоценозом (не более 30% в зависимости от культуры) и в высокой степени аккумуляции в виде нерастворимых ортофосфатов кальция, алюминия и железа [12]. Кроме того, решение проблемы доступности почвенных фосфатов зачастую сопряжено со значительным накоплением его нерастворимых форм в почвах, трудностями организации известкования земель и накоплением в них определенного количества тяжелых металлов и мышьяка.

Одним из современных способов оптимизации мобильного фосфорного фонда в почве является применение кремнийсодержащих материалов [1, 17]. Известно [3, 5, 23], что пополнение минеральной фазы почвы аморфным кремнеземом, а почвенного раствора – ионами монокремниевой кислоты способствует увеличению содержания в почвах подвижных соединений фосфора за счет реакций замещения фосфат-анионов в минеральных матрицах различными силикат-ионами (SiO_x^{y-}). С другой стороны, высокая степень дисперсности рассматриваемых кремниевых материалов позволяет сохранять мобилизованный фосфор в их межпакетных пространствах за счет сил абсорбции, не переводя его в необменное состояние [8, 24]. В связи с этим изучение влияния различных высококремнистых пород на трансформацию фосфорсодержащих соединений в почвах является актуальным как в прикладном плане, так и в плане теоретическом как понимания процессов химического внутрипочвенного преобразования системы Si–P.

Помимо вопроса о поведении почвенных фосфатов при применении кремнийсодержащих пород остается малоизученным биохимический отклик микробиоценозов почв на данные материалы и, в частности, реакция микроорганизмов, определяющих фосфатредуцирующую функцию почвенно-биотического комплекса в почвах подзолистого ряда.

Известно [2, 6, 22], что микробиологическая активность является ключевым аспектом в динамике почвенных фосфатов за счет прямого биохимического воздействия различных органических кислот – продуктов метаболизма микробиоты – на труднорастворимые минеральные фосфаты и органические P-содержащие соединения, а также за счет выделения специфических гидролазных ферментов – фосфатаз.

В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования являлась оценка микробиологической функции фосфатредукции в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве под действием высоких доз цеолита.

Методика исследования

Исследования проводили в условиях микрополевого опыта на базе картофелеводческого предприятия ООО «Элитхоз» Борского района Нижегородской области в период 2015–2017 гг. Объектами исследования явились цеолит Хотынецкого месторождения (Орловская область) и активность микробиоценоза дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, участвующего в деградации ее фосфорсодержащих компонентов.

Опыт включал контрольный вариант без внесения цеолита (Контроль) и 3 варианта с внесением в пахотный слой высоких доз кремнийсодержащей породы из расчета 3 т/га (Цеолит-1), 6 т/га (Цеолит-2) и 12 т/га (Цеолит-3). Материал вносили в пахотный горизонт почвы вручную в августе 2014 года при подготовке участка и его разбивки на деланки.

В 2015 году выращивали озимую пшеницу (*Triticum L.*) сорта *Московская 39*, в 2016 году – ячмень (*Hordeum sativum Jessen.*) сорта *Велес*, а в 2017 году – горох посевной (*Pisum L.*) сорта *Чушиминский 95*. Данные сорта сельскохозяйственных культур районированы по Волго-Вятскому региону.

Озимую пшеницу и ячмень убирали в фазу полной спелости зерна, горох – в фазу начала усыхания ботвы. Учетная площадь делянки 1 м² и была обусловлена изначальной прописью гипотезы проведения исследований. Расположение делянок рендомизированное, повторность – четырехкратная. Опыты проведены со строгим соблюдением всех методических требований для микрополевых экспериментов, все работы проводились вручную.

Погодные условия в 2015 году характеризовались незначительным количеством осадков, а сам год в целом был более жарким по сравнению со средними климатическими нормами региона (ГТК в летние месяцы варьировался в пределах 0,9–1,0). Метеоусловия 2016 года, наоборот, не отличались дефицитом осадков, а температура воздуха колебалась в пределах нормы с небольшим ее превышением в августе (ГТК=1,0–1,1). Условия 2017 года характеризовались обильным количеством осадков весной и в первой половине лета, а температура воздуха не отличалась от среднегодовых норм в течение всего лета (ГТК=1,1–1,2).

Почва опытного поля – дерново-подзолистая среднедерновая неглубокоподзоленная неоглеенная легкосуглинистая, которая на момент закладки опыта характеризовалась среднекислой реакцией (рН_{KCl} 4,8 ед. рН), низкой гумусированностью (1,21%), средней обеспеченностью подвижными соединениями фосфора (86 мг/кг) и калия (110 мг/кг), а также средним уровнем дефицита в балансе актуального (16 мг/кг) и потенциального (213 мг/кг) кремния.

Для проведения микробиологических и биохимических анализов почву отбирали в дни уборки урожая культур, подготавливали к лабораторным исследованиям и в последующем определяли численность микроорганизмов и ферментативную активность. Численность фосфатредуцирующих литотрофов определяли классическим чашечным методом [15] на глюкозоаспарагиновом агаре Муромцева (АМУР), а органотрофов – на агаре Менкиной с лецитином (АМЕН). Активность общих фосфатаз (ФА) в почве определяли спектрофотометрически методом Галстяна с п-нитрофенилфосфатом [21].

Содержание подвижных соединений фосфора (P₂O₅) в почве определяли стандартным спектрофотометрическим Р-молибденовым методом по Кирсанову для бескарбонатных почв (ГОСТ 26207–91).

Лабораторные исследования образцов почвы проводились на базе научно-образовательного центра «Биотехнология» и лабораторного комплекса «Эколого-аналитическая лаборатория мониторинга и защиты окружающей среды» Нижегородского государственного педагогического университета имени К. Минина в период 2014–2017 гг.

Математическая обработка результатов исследований выполнена по Доспехову [4] методом вариационного и корреляционного анализа с расчетом критерия Фишера при статистическом уровне значимости p<0,05 в программном пакете Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

Цеолитовые породы представляют собой комплекс алюмосиликатных минералов различной степени гидратированности гидротермального и осадочного генеза, которые в зависимости от доминирующего минерала в составе подразделяются

на клиноптилолитовый, морденитовый, филлипситовый и шабазитовый типы. Все они обладают комплексом свойств, из которых податливость к микробной деградации, ионная обменность и каталитическая способность являются наиболее значимыми с точки зрения агрономического почвоведения.

Цеолит Хотынецкого месторождения сложен более чем на 37% клиноптилолитом, а также в своем составе содержит свыше 15% опал-кристобалита, около 11% гидрослюд, 10% тонкозернистого кварца и 8–10% монтмориллонита [11]. В валовом составе цеолитовой породы в среднем содержится (%): SiO_2 – 56,6, CaO – 13,3, MgO – 1,90, P_2O_5 – 0,23, K_2O – 1,82, Na_2O – 0,23, SO_3 – 0,13, Al_2O_3 – 10,41, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ – 3,87 и другие элементы. Катионообменный комплекс породы включает (мг-экв./100 г) очень большое содержание обменных соединений кремния (SiO_3^{2-}) – 900, высокое содержание магния (Mg^{2+}) – 160 и еще больше кальция (Ca^{2+}) – 480, а также достаточно высокое содержание обменных соединений фосфора (до 26) и калия (до 25), что характеризует высокую питательную ценность материала для фито- и микробиоценозов. Такие свойства цеолита изначально могут определять его податливость к биохимической деструкции почвообитающими микроорганизмами и, как следствие, влияние на химические свойства почвы.

В почвах обитает достаточно много различных представителей родов бактерий (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*), грибов (*Penicillium*, *Piscarium*, *Trichoderma*) и дрожжей (*Rhodotorula*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Hansenula*), способных выделять фосфатазы и участвовать как в лизисе минеральных матриц (главным образом ортофосфатов Ca, Al и Fe), так и в деградации сложных высокомолекулярных фосфорсодержащих органокомпонентов (фосфолипиды, лецитин, фитин и другие инозитфосфаты, нуклеиновые кислоты, нуклеотиды и нуклеопротеиды).

Данными аспектами возможно объяснение столь существенного увеличения численности как литотрофных, так и органотрофных фосфатредуцирующих микроорганизмов в почве, которое происходило под действием высоких доз цеолита (табл. 1).

Было выявлено, что уже в первый год исследования количество фосфатредуцирующих литотрофов увеличивалось на 50% в условиях варианта с минимальной дозой породы, в 2,5 раза – с дозой в 6 т/га и в 3,2 раза – с дозой в 12 т/га. На второй год исследования закономерность сохранилась, но эффект от внесения цеолита несколько ослабевал. Однако к третьему году пролонгированность эффективности действия материала усилилась, в особенности, на вариантах Цеолит-1 и Цеолит-2.

В среднем за 3 года кратность повышения численности литотрофных фосфатредуцентов относительно значения контрольного варианта составляла 1,6, 2,6 и 3,0 раза в зависимости от дозы цеолита.

Очевидно, что вещество породы не только активно способствовало оптимизации питательных свойств почвы, но и само интенсивно подвергалось микробной деградации, что спровоцировало многократное увеличение микробного числа литотрофных ассоциаций фосфатредуцентов, чего нельзя сказать о количестве микроорганизмов, участвующих в деградации органических фосфорсодержащих компонентов в почве. В течение трех лет исследования увеличение численности данных микроорганизмов в почве оставалось на уровне 47–56% от контрольных значений при внесении в почву минимальной дозы породы. Однако повышение ее дозы не приводило к всплеску количества органотрофных микроорганизмов подобно ранее рассмотренной динамике числа литотрофов. Так, в варианте с 6 т/га цеолита увеличение количества микроорганизмов, вырастающих на агаре Менкиной, имело максимальное значение только в первый год (почти в 2 раза), однако, ко второму и третьему годам данных эффект ослабевал до 71% и 78% по отношению к контролю. В варианте

с внесением в почву 12 т/га материала степень его действия на численность микроорганизмов не только оказалась ниже степени первых двух вариантов, но оставалась практически одинаковой в течение всех лет исследования – от 54% до 60%.

Таблица 1

Влияние цеолита на численность фосфатредуцирующих микроорганизмов в дерново-подзолистой почве

Вариант	Динамика численности фосфатредуцирующих микроорганизмов, $\times 10^5$ КОЕ / 1 г почвы						В среднем за 3 года
	2015 г.		2016 г.		2017 г.		
	M \pm m	V	M \pm m	V	M \pm m	V	
фосфатредуцирующие литотрофы (среда АМУР)							
Контроль	46,2 \pm 1,5	7	59,9 \pm 1,8	6	51,3 \pm 1,7	7	52,5
Цеолит-1	69,1 \pm 2,0	6	86,2 \pm 3,1	7	90,3 \pm 2,9	6	81,9
Цеолит-2	116,4 \pm 1,6	3	140,9 \pm 4,9	7	158,2 \pm 4,1	5	138,5
Цеолит-3	148,7 \pm 4,4	6	156,0 \pm 5,6	7	168,6 \pm 6,5	8	157,8
F _f	268,10		116,50		210,03		–
фосфатредуцирующие органотрофы (среда АМЕН)							
Контроль	19,3 \pm 1,1	11	26,4 \pm 0,6	5	22,2 \pm 1,1	10	22,6
Цеолит-1	29,0 \pm 1,6	11	38,8 \pm 1,4	7	34,6 \pm 1,6	9	34,1
Цеолит-2	37,5 \pm 1,0	5	45,1 \pm 0,8	4	39,6 \pm 1,5	8	40,7
Цеолит-3	30,9 \pm 1,4	9	40,6 \pm 0,8	4	35,3 \pm 1,7	10	35,6
F _f	34,32		86,31		22,20		–

Примечание. Здесь и далее: M \pm m – средняя арифметическая \pm ошибка среднего значения; V – коэффициент вариации (%); F_f – расчетный критерий Фишера в сравнении вариантов при статистическом уровне значимости $p < 0,05$; F_t = 3,86 – теоретический критерий Фишера при n₁ = 3 и $p < 0,05$.

Несмотря на весьма положительную реакцию фосфатредуцирующей ассоциации органотрофных микроорганизмов на вещество цеолита, она, по-видимому, также зависела и от количества фосфорсодержащего органического субстрата в почве, запас которого был изначально невелик согласно генезису дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны.

Фосфатазы (фосфогидролазы, фосфорилазы – НКФ 3.1.3.17) представляют собой обширную группу гидролазных ферментов, биохимическое действие которых направлено на гидролиз разнообразных фосфорорганических соединений по фосфоэфирным связям. Данный ферментный комплекс выделяется большинством почвообитающих бактерий как литотрофного, так и органотрофного типов питания. В результате таких процессов происходит отщепление остатков

фосфорной кислоты и фосфор органических радикалов переходит в свободное состояние. В почвах обнаружены различные фосфогидролазы: группа кислых и щелочных фосфатаз, гидролизующих моноэфиры фосфорной кислоты (глицерофосфаты, сахарофосфаты и т.д.); фитазы – особая специфическая группа, отщепляющая остатки фосфорной кислоты от фитина; группа нуклеаз (дезоксирибонуклеазы, рибонуклеазы), которые катализируют реакции деполимеризации нуклеиновых кислот [14].

Данные рисунка 1 отражают влияние цеолита на активность общих фосфатаз в дерново-подзолистой почве нашего исследования.

В опыте было установлено повышение активности почвенных фосфатаз, которое по годам исследования оказалось отчасти синхронно с динамикой численности литотрофных фосфатредуцентов, а по степени отклика на дозу вещества цеолита – с динамикой количества органотрофных микроорганизмов в почве. В частности, наибольшее повышение фосфатазной активности почвы было установлено на второй год исследования (в 2,6, 3,6 и 3,3 раза соответственно по трем исследуемым вариантам). В первый же год наибольшее увеличение активности фосфатазных ферментов в почве (в 4,4 раза) было установлено в условиях внесения в почву 12 т/га породы, а к третьему году исследования отклик ферментной системы почвы заметно снижался.

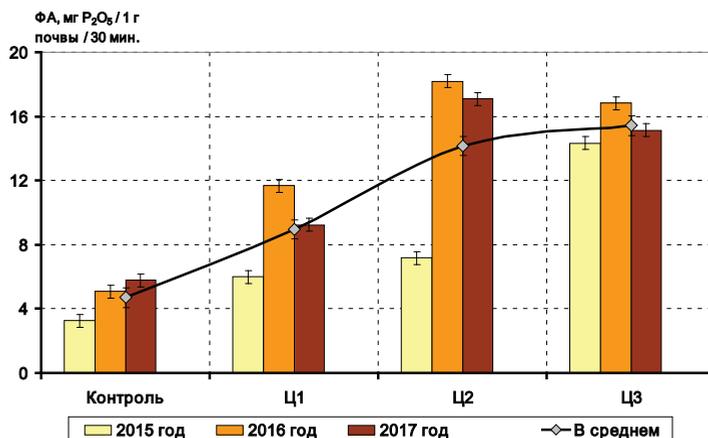


Рис. 1. Динамика активности общей фосфатазы в дерново-подзолистой почве под действием цеолита, 2015–2017 гг. (F_1 : 1 год – 54,26; 2 год – 15,07; 3 год – 23,34; $F_1 = 3,86$ – теоретический критерий Фишера при $n_1 = 3$ и $p < 0,05$)

В целом по годам исследования реакция активности почвенных фосфатаз на вещество цеолита была наибольшей в условиях внесения его в почву 6 т/га, а в среднем за три года максимальная активизация рассматриваемого ферментного комплекса прослеживалась на варианте с 12 т/га породы, где относительно контрольных значений разница составляла 3,3 раза.

Вследствие биохимической работы микроорганизмов в круговороте фосфора в почве, очевидно активизированного высокими дозами вещества цеолита, содержание в ней подвижных фосфатов, показанное в таблице 2, имело закономерность повышения в зависимости от дозы материала. При этом в опыте была установлена пролонгация данного эффекта по годам исследования.

Было выявлено, что эффективность внесения в почву минимальной дозы цеолита (3 т/га) выражалась в виде 10%, 20% и 41% увеличения содержания в почве подвижных соединений фосфора соответственно по годам исследования. На варианте

с 6 т/га породы данный эффект был много выше – 30%, 42% и 62%, однако при внесении в почву 12 т/га степень увеличения показателя ослабевала. В среднем за три года содержание подвижного P_2O_5 в почве повышалось до 43% относительно контроля на варианте с 6 т/га цеолита.

Вероятно, что такое увеличение показателя оказалось обусловлено не только непосредственным высвобождением в почвенный раствор мобильных фосфатов из породы, но и ранее рассмотренной особенностью химического взаимодействия поглощенного в ППК (почвенный поглощающий комплекс) почвы фосфора с подвижным кремнием [25, 26], которого в цеолите достаточно много (до 9000 мг/кг). Привнесение в биохимически активную ризосферную зону почвы больших объемов аморфных силикатов помимо их интенсивной микробной деградации способствует также ионообменному замещению ими ортофосфат-анионов в коллоидной матрице и переводу соединений фосфора в растворенное состояние.

Таблица 2

Влияние цеолита на содержание подвижных соединений фосфора в дерново-подзолистой почве

Вариант	Динамика содержания подвижных соединений фосфора, мг/кг почвы						В среднем за 3 года
	2015 г.		2016 г.		2017 г.		
	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V	
Контроль	90±2	5	86±1	3	81±2	6	86
Цеолит-1	99±4	7	103±3	5	114±4	6	105
Цеолит-2	117±2	3	122±3	4	131±3	4	123
Цеолит-3	112±5	9	119±3	5	125±4	6	119
F_f	19,20		41,91		194,91		–

Исследования по влиянию цеолита в различных дозах на микробиологические и ферментативные 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 сопряженность и изменчивость признаков закономерно сохраняла функциональную зависимость при внесении в почву материала по годам опыта.

Расчеты показали наличие практически прямой зависимости между содержанием подвижных соединений фосфора в почве и микробиологическими показателями ее фосфатредуцирующей функции при внесении высоких доз цеолита. Однако на основе условия ($t_{г\text{ факт.}} \geq t_{г\text{ теор.}}$) в части наиболее выраженного действия породы на активность микробной деградации фосфатов почвы из всех рассмотренных случаев существенными и стабильными являлись корреляции между численностью органотрофных фосфатредуцентов и содержанием в почве мобильных фосфатов. Фосфатазная активность почвы за три года ведения опыта стабильно достоверно коррелировала с наличием материала цеолита в почве, так и, в меньшей степени, с его дозой.

**Коэффициенты корреляции между численностью
фосфатредуцирующих бактерий в дерново-подзолистой почве,
ее фосфатазной активностью и содержанием подвижных соединений фосфора**

r	Фосфатредуцирующая микробиологическая активность почвы											
	2015 г. – озим. пшеница				2016 г. – ячмень				2017 г. – горох			
	К	Ц ₁	Ц ₂	Ц ₃	К	Ц ₁	Ц ₂	Ц ₃	К	Ц ₁	Ц ₂	Ц ₃
численность фосфатредуцентов-литотрофов												
P ₂ O ₅	0,94	0,96	0,85	0,83	1,00	0,88	0,98	0,94	0,92	0,95	0,99	0,89
численность фосфатредуцентов-органотрофов												
P ₂ O ₅	0,97	0,99	0,97	1,00	0,96	0,95	0,97	0,93	0,97	1,00	0,99	0,78
фосфатазная активность почвы												
P ₂ O ₅	0,95	0,96	0,93	0,87	0,98	0,98	0,90	0,98	0,94	0,92	0,98	0,82

* – коэффициент корреляции. Жирным шрифтом отмечена статистически существенная зависимость

Описанные выше изменения в почве, очевидно, происходили за счет наличия в цеолите значительного количества активных соединений кремния, мобильно выходящих в почвенный раствор из его аморфных биоразлагаемых микроструктур.

Сопоставляя полученные нами данные также необходимо отметить, что поскольку исследуемый цеолитовый материал не содержит в своем составе органических компонентов, но является носителем сложных минеральных адсорбционно-каталитических и ионообменных центров и при этом, как показано, активно участвует в изменении численности фосфатредуцирующих микроорганизмов и фосфатазной ферментативной активности почвы, очевидно, что вещество данной породы вступает как в физико-химическое взаимодействие с ППК почвы, так и активно подвергается микробной деградации со стороны ее ПБК. Ранее полученные лабораторные испытания по бактериальному выщелачиванию вещества из цеолита литотрофными и органотрофными микроорганизмами, выделенными из исследуемой дерново-подзолистой почвы [10], свидетельствуют о наличии прямого биохимического воздействия микробного пула на цеолит.

Выводы (заключение)

Таким образом, на основе результатов трехлетнего микрополевого эксперимента установлена пролонгированная активизация фосфатредуцирующей микробной функции дерново-подзолистой почвы под действием высоких доз цеолита Хотынецкого месторождения, вследствие которой ППК дополнительно насыщается подвижными соединениями фосфора.

Применение цеолита на высокодефицитных мобильных соединениями кремния почвах позволяет пополнить ее минеральную составляющую биологически активным субстратом, микробная деградация которого в первую очередь оптимизирует литотрофную составляющую почвенно-биотического комплекса.

Библиографический список

1. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения // *Агрохимия*, 2011. № 7. С. 84–96.
2. Гаврилова А.Н., Шимко Н.А., Савченко Н.И. Динамика органических соединений фосфора и фосфатазной активности в дерново-подзолистой почве // *Почвоведение*, 1973. № 6. С. 70–78.
3. Гладкова К.Ф. Роль кремния в фосфатном питании растений // *Агрохимия*, 1982. № 3. С. 133–140.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.
5. Елешев Р.Е., Иванов А.Л., Садвакасов С.К. Изучение влияния совместного внесения фосфорных и кремнийсодержащих удобрений на фосфатный режим основных типов почв Казахстана. Сообщение 1. Исследование влияния различных форм кремнийсодержащих удобрений // *Агрохимия*, 1990. № 10. С. 35–42.
6. Емнова Е.Е., Дарабан О.В., Бызган Я.В., Тома С.И. Влияние фосфорного и стартовых доз азотных удобрений на фосфатазную активность в ризосферной почве и нелигнифицированных корнях сои в условиях засухи // *Почвоведение*, 2014. № 2. С. 217–224.
7. Иванов А.Л., Волков С.Н., Савин И.Ю. Почвенно-экологические и инфраструктурные аспекты реализации стратегии развития агропроизводства в России // *Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева*, 2017. Вып. 89. С. 104–120.
8. Иванов А.Л. Изучение влияния совместного внесения фосфорных и кремнийсодержащих удобрений на фосфатный режим основных типов почв Казахстана. Сообщение 3. Влияние кремния на сорбционную способность коллоидных фракций почв в отношении фосфатов // *Агрохимия*, 1992. № 5. С. 25–30.
9. Козлов А.В., Куликова А.Х., Яшин Е.А. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах // *Вестник Мининского университета*, 2015. № 2 (10). С. 23.
10. Козлов А.В., Уромова И.П. Изменение параметров микробиологической системы железо-, марганец- и фосфат-редуцирующих бактерий при деструкции диатомита, цеолита и бентонитовой глины // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. № 8–1. С. 110–115.
11. Кусова Н.В., Степанова Л.П. Кипящие камни (цеолиты): список литературы. Орел: ОрелГАУ, 2005. 18 с.
12. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А. Использование отходов металлургической промышленности для улучшения фосфорного питания и повышения засухоустойчивости растений // *Агрохимия*, 2003. № 5. С. 42–47.
13. Мосина Л.В., Мерзлая Г.Е. Экологическая оценка влияния органических и минеральных удобрений на микрофлору дерново-подзолистой почвы и продуктивность агроценозов в экстремальных погодных условиях // *Известия ТСХА*, 2013. № 5. С. 5–18.
14. Номенклатура ферментов / Под ред. В.Л. Кретовича. М.: ВИНТИ, 1966. 256 с.
15. Практикум по микробиологии / Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Изд. центр «Академия», 2005. 608 с.
16. Луховский А.В. Моделирование функции продуктивности и определение критического уровня почвенных фосфатов // *Известия ТСХА*, 2013. № 3. С. 5–17.
17. Самсонова Н.Е. Роль кремния в формировании фосфатного режима дерново-подзолистых почв // *Агрохимия*, 2005. № 8. С. 11–18.

18. Соколов М.С., Марченко А.И., Санин С.С., Торопова Е.Ю., Чулкина В.А., Захаров А.Ф. Здоровье почвы агроценозов как атрибут ее качества и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам // Известия ТСХА, 2009. № 1. С. 13–22.
19. Соколов О.А., Черников В.А., Шмырева Н.Я. Эколого-физиологическая оценка минерального питания растений // Известия ТСХА, 2016. № 3. С. 5–17.
20. Ушаков Р.Н., Головина Н.А. Агрохимическая модель агросерой почвы // Известия ТСХА, 2018. № 1. С. 36–47.
21. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
22. Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Каширская Н.Н., Демкин В.А. Фосфатазная активность современных и погребенных почв Волго-Донского Междуречья // Почвоведение, 2012. № 4. С. 478–483.
23. Chimney M.J., Yongshan W., Matichenkov V.V., Calvert D.V. Minimizing phosphorus release from newly flooded organic soils amended with calcium silicate slag: a pilot study // Wetlands Ecol. and Manag., 2007. 15 (5). P. 385–390.
24. Hartz T.K., Johnstone P.R. Relationship between soil phosphorus availability and phosphorus loss potential in runoff and drainage // Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2006. 37 (11–12). P. 1525–1536.
25. Johnston A.E., Poulton P.R. Response of cereals to soil and fertilizer phosphorus // HGCA Research Review No. 74 / Rothamsted Research, Harpenden, 2011. 54 p.
26. Matichenkov V.V., Bocharnikova E.A. Influence of plant association on the silicon cycle in the soil-plant system // Appl. Ecol. Environ. Res., 2012. 10 (4). P. 547–560.
27. Matichenkov V.V., Wei X., Liu D., Bocharnikova E.A. Theory, practice and prospection of Si fertilizer // Agricult. Sci. Technol., 2013. 14 (3). P. 498–502.

ZEOLITE INFLUENCE ON PHOSPHATE-REDUCTION FUNCTION OF SOD-PODZOLIC SOIL MICROBIOCENOSIS AND CONTENT OF MOBILE PHOSPHORUS COMPOUNDS

A.V. KOZLOV¹, A.KH. KULIKOVA², I.P. UROMOVA¹

(¹ Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University;
² Stolypin Ulyanovsk State Agricultural University)

One of modern agronomical soil science priorities is the study of soil and biotic transformation processes of materials used as alternative fertilizers, with subsequent assessment of changes both in the nutritious quality of a soil solution composition and in shift directions of a function of the soil-biotic transformation. In this regard, the present work is devoted to studying the microbiological characteristics of sod-podzolic sandy loamy soil and, in particular, the biochemical function of the transformation of its organic and mineral phosphate components occurring under the influence of zeolite from the Hotynetsky field. There has been conducted a microfield research of the influence of high rates of zeolite on the quantity indicators of lithotrophic and organotrophic phosphate-reduction microorganisms of soil and its phosphatase activity. The research has shown that the quantity of geophilic lithotrophic microorganisms under the influence of zeolite at a rate of 6 t/hectare increased on average in 2.6–3.0 times, and that of organotrophic microorganisms – by 80%. The frequency rate of strengthening the soil phosphatase activity by the rock material at rates of 6 and 12 t/hectare, amounted to 3.0 and 3.3 times, respectively. Owing to the activation of phosphate-reduction microbic associations of sod-podzolic soil with high-siliceous material, the content of mobile phosphorus compounds increased from 22% to 43%, depending on a zeolite rate. The close and prolonged by years of research correlation between the content of mobile phosphates in soil and the number of phosphate reduction microorganisms convincingly confirms the fact

of active interaction of the considered rock material with a soil-and-biotic complex and, at the same time, allows to consider it as a material stabilizing not only biodegradation functions of a microbial pool, but also optimizing the soil absorbing complex due to exchange reactions in colloidal Si-P system.

Key words: sod-podzolic soil, zeolite, phosphate-reduction function of microbiocenosis, activity of phosphatases, content of mobile phosphorus compounds.

References

1. *Bocharnikova E.A., Matychenkov V.V., Matychenkov I.V.* Kremnievye udobreniya i melioranty: istoriya izucheniya, teoriya i praktika primeneniya [Silicon fertilizers and ameliorants: studying history, theory and practice of application] // *Agrokhimiya*, 2011. No. 7. Pp. 84–96.
2. *Gavrilova A.N., Shimko N.A., Savchenko N.I.* Dinamika organicheskikh soedineniy fosfora i fosfataznoy aktivnosti v dernovo-podzolistoy pochve [Dynamics of organic compounds of phosphorus and phosphatase activity in the sod-podzolic soil] // *Pochvovedeniye*, 1973. No. 6. Pp. 70–78.
3. *Gladkova K.F.* Rol' kremniya v fosfatnom pitanii rasteniy [The role of silicon in the phosphatic nutrition of plants] // *Agrokhimiya*, 1982. No. 3. Pp. 133–140.
4. *Dospekhov B.A.* Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Technique of field experiment (with basics of statistical processing of research results)]. M.: ID Al'yans, 2011. 352 p.
5. *Yeleshev R.Ye., Ivanov A.L., Sadvakasov S.K.* Izucheniye vliyaniya sovmestnogo vneseniya fosfornykh i kremniysoderzhashchikh udobreniy na fosfatniy rezhim osnovnykh tipov pochv Kazakhstana. Soobshcheniye 1. Issledovaniye vliyaniya razlichnykh form kremniysoderzhashchikh udobreniy [Studying the influence of joint introduction of phosphoric and siliceous fertilizers on the phosphatic mode of the main soil types of Kazakhstan. Message 1. Study of the influence of various forms of siliceous fertilizers] // *Agrokhimiya*, 1990. No. 10. Pp. 35–42.
6. *Yemnova Ye.Ye., Daraban O.V., Byzgan Ya.V., Toma S.I.* Vliyaniye fosfornogo i startovnykh doz azotnykh udobreniy na fosfataznuyu aktivnost' v rizosfernoy pochvy i nelignifitsirovannykh kornyakh soi v usloviyakh zasukhi [Influence of phosphoric and starting rates of nitrogen fertilizers on the phosphatase activity in rhizosphere soils and non-lignified roots of soy in drought conditions] // *Pochvovedeniye*, 2014. No. 2. Pp. 217–224.
7. *Ivanov A.L., Volkov S.N., Savin I.Yu.* Pochvenno-ekologicheskiye i infrastrukturnyye aspekty realizatsii strategii razvitiya agroproduktstva v Rossii [Soil-and-ecological and infrastructure aspects of the implementation of the strategy of farm production development in Russia] // *Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva*, 2017. No. 89. Pp. 104–120.
8. *Ivanov A.L.* Izucheniye vliyaniya sovmestnogo vneseniya fosfornykh i kremniysoderzhashchikh udobreniy na fosfatniy rezhim osnovnykh tipov pochv Kazakhstana. Soobshcheniye 3. Vliyaniye kremniya na sorbtionnyuyu sposobnost' kolloidnykh fraktsiy pochv v otnoshenii fosfatov [Studying the influence of joint introduction of phosphoric and siliceous fertilizers on the phosphatic mode of the main soil types of Kazakhstan. Message 3. Influence of silicon on the sorption ability of colloidal fractions of soils in relation to phosphates] // *Agrokhimiya*, 1992. No. 5. Pp. 25–30.
9. *Kozlov A.V., Kulikova A.Kh., Yashin Ye.A.* Rol' i znacheniye kremniya i kremniysoderzhashchikh veshchestv v agroekosistemakh [Role and value of silicon and siliceous substances in agroecosystems] // *Vestnik Mininskogo universiteta*, 2015. No. 2 (10). P. 23.

10. *Kozlov A.V., Uromova I.P.* Izmeneniye parametrov mikrobiologicheskoy sistemy zhelezo-, manganets- i fosfat-redutsiruyushchikh bakteriy pri destruktzii diatomita, tseolita i bentonitovoy gliny [Change of microbiological system parameters of iron-, manganese- and phosphate-reducing bacteria in the destruction of diatomite, zeolite and bentonite clay] // *Mezhdunarodniy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy.* 2017. No. 8–1. Pp. 110–115.

11. *Kusova N.V., Stepanova L.P.* Kipyashchiye kamni (tseolity): spisok literatury [Boiling stones (zeolites): list of references] Orel: OrelGAU, 2005. 18 p.

12. *Matychenkov V.V., Bocharnikova Ye.A.* Ispol'zovaniye otkhodov metallurgicheskoy promyshlennosti dlya uluchsheniya fosfornogo pitaniya i povysheniya zasukhoustoychivosti rasteniy [Use of the metallurgical industry waste to improve phosphoric nutrition and increase drought resistance of plants] // *Agrokhimiya,* 2003. No. 5. Pp. 42–47.

13. *Mosina L.V., Merzlaya G.E.* Ekologicheskaya otsenka vliyaniya organicheskikh i mineral'nykh udobreniy na mikrofloru dernovo-podzolistoy pochvy i produktivnost' agrotsenozov v ehkstremaal'nykh pogodnykh usloviyakh [Ecological assessment of the influence of organic and mineral fertilizers on the sod-podzolic soil microflora and the agrocenose efficiency in extreme weather conditions] // *Izvestiya TSKhA,* 2013. No. 5. Pp. 5–18.

14. *Nomenklatura fermentov [Nomenclature of enzymes]* / Ed. by V.L. Kretovich. M.: VINITI, 1966. 256 p.

15. *Praktikum po mikrobiologii [Workshop on microbiology]* / Ed. by A.I. Netrusov. M.: Izd. centr "Akademiya", 2005. 608 p.

16. *Pukhovskiy A.V.* Modelirovaniye funktsii produktivnosti i opredeleniye kriticheskogo urovnya pochvennykh fosfatov [Modeling of the efficiency function and determination of the critical level of soil phosphates] // *Izvestiya TSKhA,* 2013. No. 3. Pp. 5–17.

17. *Samsonova N.Ye.* Rol' kremniya v formirovanii fosfatnogo rezhima dernovo-podzolistykh pochv [Silicon role in the formation of the phosphatic mode of sod-podzolic soils] // *Agrokhimiya,* 2005. No. 8. Pp. 11–18.

18. *Sokolov M.S., Marchenko A.I., Sanin S.S., Toropova Ye.Yu., Chulкина V.A., Zakharov A.F.* Zdorov'ye pochvy agrotsenozov kak atribut yeyo kachestva i ustoychivosti k bioticheskim i abioticheskim stressoram [Health of the agrocenosis soil as an attribute of its quality and resistance to biotic and abiotic stressors] // *Izvestiya TSKhA,* 2009. No. 1. Pp. 13–22.

19. *Sokolov O.A., Chernikov V.A., Shmyreva N.Ya.* Ekologo-fiziologicheskaya otsenka mineral'nogo pitaniya rasteniy [Ecology-physiological assessment of the mineral nutrition of plants] // *Izvestiya TSKhA,* 2016. No. 3. Pp. 5–17.

20. *Ushakov R.N., Golovina N.A.* Agrokhimicheskaya model' agroseroy pochvy [Agrochemical model of the agrogrey soil] // *Izvestiya TSKhA,* 2018. No. 1. Pp. 36–47.

21. *Khaziyev F.Kh.* Metody pochvennoy ehntzimologii [Methods of soil enzymology]. M.: Nauka, 2005. 252 p.

22. *Khomutova T.E., Demkina T.S., Kashirskaya N.N., Demkin V.A.* Fosfatnaya aktivnost' sovremennykh i pogrebennykh pochv Volgo-Donskogo Mezhdurech'ya [Phosphatase activity of modern and buried soils of the Volga-Don interfluvial area] // *Pochvovedeniye,* 2012. No. 4. Pp. 478–483.

23. *Chimney M.J., Yongshan W., Matichenkov V.V., Calvert D.V.* Minimizing phosphorus release from newly flooded organic soils amended with calcium silicate slag: a pilot study // *Wetlands Ecol. and Manag.,* 2007. 15 (5). Pp. 385–390.

24. *Hartz T.K., Johnstone P.R.* Relationship between soil phosphorus availability and phosphorus loss potential in runoff and drainage // *Communications in Soil Science and Plant Analysis,* 2006. 37 (11–12). Pp. 1525–1536.

25. *Johnston A.E., Poulton P.R.* Response of cereals to soil and fertilizer phosphorus // HGCA Research Review No. 74 / Rothamsted Research, Harpenden, 2011. 54 p.

26. *Matichenkov V.V., Bocharnikova E.A.* Influence of plant association on the silicon cycle in the soil-plant system // Appl. Ecol. Environ. Res., 2012. 10 (4). Pp. 547–560.

27. *Matichenkov V.V., Wei X., Liu D., Bocharnikova E.A.* Theory, practice and prospection of Si fertilizer // Agricult. Sci. Technol., 2013. 14 (3). Pp. 498–502.

Козлов Андрей Владимирович – к.б.н., доцент, доц. кафедры экологического образования и рационального природопользования, зав. лабораторным комплексом «Эколого-аналитическая лаборатория мониторинга и защиты окружающей среды» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина» (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 1; тел.: (831) 439-00-79; e-mail: a_v_kozlov@mail.ru).

Куликова Алевтина Христофоровна – д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой «Почвоведение, агрохимия и агроэкология» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: (8422) 55-95-68; e-mail: agroec@yandex.ru).

Уромова Ирина Павловна – д.с.-х.н., доцент, профессор кафедры биологии, химии и биолого-химического образования, зав. научно-образовательным центром «Биотехнология» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина», зав. лабораторией биотехнологии ООО «Элитхоз» (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 1; тел.: (831) 439-14-29; e-mail: uromova2012@yandex.ru).

Andrey V. Kozlov – PhD (Bio), Associate Professor, Department of Ecological Education and Rational Environmental Management, Head of laboratory complex facilities “Ecology-Analytical Laboratory of Monitoring and Environment Protection”, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University (Ulyanova Str., 1, 603950, Nizhny Novgorod, Russia, phone: +7 (831) 439-00-79; e-mail: a_v_kozlov@mail.ru).

Alevtina Kh. Kulikova – DSc (Ag), Professor, Department of Soil Science, Agrochemistry and Agroecology, Stolypin Ulyanovsk State Agricultural University (Noviy Venets Str., 1, 432017, Ulyanovsk, Russia, phone: +7 (8422) 55-95-68; e-mail: agroec@yandex.ru).

Irina P. Uromova – DSc (Ag), Professor, Department of Biology, Chemistry and Biological and Chemical Education, Head of Scientific and Educational Center “Biotechnology”, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Head of the Biotechnology Laboratory of LLC “Elitkhov” (Ulyanova Str., 1, 603950, Nizhny Novgorod, Russia, phone: +7 (831) 439-14-29; e-mail: uromova2012@yandex.ru).