

ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ  
ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ  
NATURAL SCIENCES

ВЛИЯНИЕ ДИАТОМИТА НА МИКРОБНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ПОЧВЕННЫХ  
СТРУКТУР

А.Н. БАЙЗАК\* , С.Ф. СЕМЕНИХИНА 

Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

\*E-mail: [timur.cheng@gmail.com](mailto:timur.cheng@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается практическая значимость диатомита как естественного удобрения и оздоровителя почвенных структур посредством его влияния на микробные сообщества, обитающие в них. Так, из-за стабильно ухудшающейся экологической ситуации во всём мире, состояние земельных покровов претерпевает негативные изменения вследствие неконтролируемого антропогенного воздействия, накапливая в себе продукты переработки нефтегазовой промышленности, отходов легкой и тяжелой промышленности, а также фильтруя собою все элементы сточных вод. Для решения рассматриваемой проблемы предлагается применять наиболее доступные и экологически выгодные методы биоремедиации почв, в частности, с использованием кизельгура и подобных ему минеральных соединений. Данные ископаемые материалы являются хорошими адсорбентами, способными также насыщать почву определенными микроэлементами и питательными веществами, что может привести к увеличению полезной микрофлоры – азотфиксирующих, сульфитредуцирующих бактерий, актиномицетов, и к угнетению развития нежелательной микрофлоры – патогенных и условно-патогенных микроскопических грибов, фитопатогенных вирусов и бактерий. Научная статья ставит перед собой задачу теоретического исследования вопросов взаимодействия микроорганизмов внутри почвенной экосистемы: их симбиоз и синергию, антагонистическое воздействие, влияние на растительный мир, а также место диатомита в рассматриваемых процессах. Результатом проделанной работы стало теоретические обоснования развития отрасли переработки и добычи диатомита в целях его применения в качестве композитного материала, способного к биоремедиации почв.

**Ключевые слова:** микрофлора, диатомит, почва, микробные сообщества, гумус, сапрофитные микроорганизмы, биологическая активность, биоремедиация,

Состояние почв не только в Казахстане, но и во многих других странах с сырьевой экономикой и крупнотоннажным производством стремительно усугубляется, что приводит к масштабным экологическим проблемам. Каждый сантиметр покрова Земли, являясь биофильтром, поглощает собою побочные продукты нефтегазовой промышленности, отходы легкой и тяжелой промышленности, способствует поглощению определенного количества загрязнений сточных вод и так далее. Актуальность работы заключается в сложившейся экологической ситуации, требующей немедленного вмешательства с использованием современных безопасных методов биоремедиации почв.

Поверхностный слой литосферы, состоящий из разных типов почв, представляет собою определенную экосистему. Она включает в себя бесчисленное количество биогеоценозов, каждый из которых может обладать, как полезными, так и вредными свойствами, и качествами, которые прямо пропорционально влияют на здоровье почв. Так, микробные сообщества способствуют питанию и насыщению земель, аккумулярованию в собственной биомассе и частичной переработке вредных химических соединений, поверхностно активных веществ, играют антагонистическую роль по отношению к патогенной микрофлоре.

К обитателям биогеоценоза почв относятся микроскопические водоросли и грибы,

простейшие, а также бактерии. Все они, являясь редуцентами, или же миксотрофами, принимают участие в процессе формирования плодородий земельных покровов и находятся в различных взаимоотношениях друг с другом, формируя симбиозы и образуя синтрофические связи между собой. Так, к их основным функциям можно отнести:

1. Декомпозиция органического материала, включающая в себя способность разлагать остатки органических веществ растительного и животного происхождения. Так, обитатели почвы – анаэробные спорообразующие бактерии рода *Clostridium* участвуют в сбраживании азотсодержащих соединений, простые углеводы, крахмал, пектин, целлюлозу. Они также участвуют в процессах гниения.

2. Участие в азотном цикле и фиксация азота – некоторые бактерии, например, род *Rhizobium* и *Azotobacter*, способные в процессе азотфиксации трансформировать свободный азот в его растворимую форму, которая используется для питания растениями.

3. Превращения соединений фосфора – различные виды бактерий *Pseudomonas*, *Flavobacterium* способны растворять нерастворимые минеральные фосфаты почвы для их лучшего усвоения растениями. Помимо этого, микроорганизмы рода *Streptomyces*, *Aspergillus* могут минерализовать разветвленные молекулы фосфатов.

4. Окисление соединений серы – данный процесс выполняют тиобактерии, относящиеся к родам *Achromatium*, *Thiobacterium*, *Thiospira*. Они способны окислять сероводород, сульфиды различных металлов, тиосульфаты и так далее.

В естественной среде, неподверженной антропогенному фактору, почва способна восстанавливаться самостоятельно в результате процессов, описанных выше. Однако, из-за высокой концентрации токсичных веществ, а также недостатка нутриентов в почве,

активность полезной микрофлоры подавляется. Так, в исследованиях Стифеева А. И. было показано, что в местах загрязнений тяжелыми металлами темно-серых лесных почв активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов понижалась и составляла всего 12% [1]. К примеру, отходы многих производств, содержащие в своем составе фенолы, спирты, галогенсодержащие углеводороды, поверхностно-активные вещества, детергенты и прочие виды химических веществ, напрямую влияют на проницаемость цитоплазматической мембраны микроорганизмов, нарушая её структуру. В конечном итоге, это приводит к полному разрушению клетки микроорганизма и соответственно её гибели. Тяжелые металлы и концентрация ионов водорода, вносимых в среду, также может косвенно повлиять посредством изменения кислотности почвы, пагубно действуя на ионное состояние и биодоступность метаболитов, необходимых для жизнедеятельности микрофлоры.

Исходя из вышесказанного становится ясным, что при высоких концентрациях загрязняющих веществ почва претерпевает практически необратимые изменения, так как в ней угнетаются важнейшие процессы самовосстановления. Следовательно, при отсутствии незамедлительного вмешательства её состояние продолжит ухудшаться. Для решения данной проблемы, мы считаем необходимым использование природных соединений в качестве удобрителей и минеральных добавок для микроорганизмов.

#### **Материалы и методы исследования.**

Материалом исследования является диатомит – легкая осадочная горная порода, обычно рыхлая, белого или желтоватого оттенка, состав которой представлен в основном кремнистым материалом с наличием подвижных форм элементов питания (азота, калия, фосфора и т.п.). В Республике Казахстан находятся одни из самых крупнейших месторождений диатомита – Утесайское и Киргизское месторождения с запасами в несколько миллионов тонн, а также месторождение Жалпак, оценивающееся в 1,8 миллиарда тонн [2]. Флуоресцентный анализ разновидностей диатомита месторождения Жалпак показал содержание  $\text{SiO}_2$  изменяется от 25,845% в желтых (охроподобных) до 73,087% в белых разновидностях руды. Содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  меняется от 2,356% до 27,440%. Условно различные образцы диатомитовых руд могут быть

разделены на мало- (2-5 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), средне- (10-12 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и высокожелезистые (20-30 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) разновидности. Изменение содержания второстепенных компонентов (Na<sub>2</sub>O, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO и т.д.) не так значительно [3]. Пористость такого диатомита составила 82-89%.

С агротехнической стороны преимущества данного типа удобрений заключаются в:

1. Большая степень абсорбции. Ввиду того, что диатомит по своей структуре имеет множество мелких пор, то в нём надолго задерживаются питательные элементы, необходимые как для растений, так и для микроорганизмов. Помимо этого, он способствует снижению подвижности тяжелых металлов в почве, которые губительно влияют на почвенные биоценозы.

2. Экологичность. Диатомит представляет собой материал, образовавшийся в результате естественных процессов и не имеющий в своем составе вредных химических соединений или синтетических составляющих, способных навредить почве.

3. Рентабельность и дешевизна. Оценка экономической эффективности технологии возделывания озимой пшеницы с использованием диатомита и его смесей с минеральными удобрениями показала, что применение диатомита в чистом виде в дозе 3 т/га, несмотря на достаточно высокие затраты на транспортировку и внесение, является рентабельным [4].

В качестве метода исследования был применен сравнительный анализ полученных ранее результатов экспериментов научных биологов и агрономов на повышение биологической активности почвы при внесении диатомита.

#### **Результаты и их обсуждение.**

Использование диатомита в качестве удобрения оказало комплексное влияние на микрофлору почвы, способствуя появлению положительной тенденции роста числа аммонифицирующей, амилотической микрофлоры и оказало благоприятное влияние на численность силикатных, фосфорных литотрофных, а также миксотрофных микроорганизмов.

Так, в исследованиях состояния ризосферы ржи при применении диатомита было установлено положительное действие диатомита на неудобренной почве на численность популяции аммонифицирующей микрофлоры, способствуя увеличению её численности на 13%, а при увеличении концентрации диатомита в 4 раза – на 19% [5]. Такой же результат был продемонстрирован в отношении повышения ферментативной активности протеаз до 35% при максимальной концентрации диатомита (таблица 1). Протеолитические ферменты почвы косвенно участвуют в круговороте азота, а также, расщепляя белки и нуклеопротеиды до аминокислот и пептидов, образуют необходимые структурные элементы гуминовых кислот, находящихся в составе гумуса. Гумус, в свою очередь, способствует накоплению в почве питательных веществ, необходимых как для растений, так и для дальнейшего увеличения численности «полезной» микрофлоры.

**Таблица 1. Влияние диатомита на количественные показатели аммонифицирующих микроорганизмов.**

Вариант	Почва, млн. КОЕ/1 г. абс.-сух. почвы	Активность протеолитических ферментов, мг глицина/1 г за 24ч
Контроль	16,6	1,85
Диатомит – 1,5 г/кг	17,1	2,02
Диатомит – 3,0 г/кг	18,8	2,21
Диатомит – 4,5 г/кг	19,0	3,09
Диатомит – 6,0 г/кг	19,9	3,94

Установлено было, что диатомит посредством улучшений условий кислотности почвы

способствует росту и развитию миксотрофной микрофлоры, представленной актиномицетами и грибами, которые также участвуют в образовании гумуса и биоконверсии органических веществ. С учетом относительной статистической погрешности исследований диатомит в условиях вегетационного опыта практически не влиял на содержание гумуса в почве, но намечена тенденция его повышения при максимальных дозах [6].

Более продолжительные исследования влияния диатомита на группу силикатных бактерий дали также положительный результат. В ходе трехлетнего изучения потенциала использования диатомита Инзенского месторождения Ульяновской области было выяснено, что пролонгированное внесение удобрения в высоких концентрациях 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 [7].

Помимо этого, кремниевые удобрения способствовали подавлению патогенной микрофлоры, в частности, фитопатогенных полупаразитных грибов возбудителей корневой гнили – рода *Fuzarium*, *Bipolaris*, *Cercospora*. В настоящее время, для борьбы с данными болезнями растений применяются фунгициды, а именно препараты группы триазолов и бензимидазолов, которые негативно сказываются на благополучие земельных покровов. Для сравнения, внесение в почву минимальных доз диатомита, равных 40 кг/га, позволяет достичь тех же результатов без нанесения вреда окружающей среде и самим растениям. Другим примером может послужить применение диатомита для борьбы с вершинной гнилью томатов. Растения на опытном варианте практически не поражались и снижение заболеваемости томатов при внесении диатомита в почву составляло до 80 %, урожайность их при этом повышалась на 3,5 т/га (44%) [7].

Анализ исследований показывает, что в большинстве случаев диатомит благоприятно влияет на микробиологический состав почвенных структур, одновременно угнетая воздействие патогенной микрофлоры, тем самым выполняя комплексное действие. С биотехнологической точки зрения, можно предложить улучшение качества удобрений, включающий в свой состав диатомит при помощи модификации последнего. Так, приготовление композитных веществ с учетом высоких адсорбционных свойств кизельгура представляет собой многообещающее направление его использования в качестве вещества, ускоряющего разложение поверхностно-активных веществ и одновременно способствующее питанию почвы необходимыми микроэлементами. Исследования показывают, что иммобилизация оксида титана на микропорах диатомита привело к расширению доступной для реакции поверхности, тем самым повышая фотокаталитическую активность композита при деградации бисфенола А [8]. Теоретически схожий принцип можно применить с использованием методов экологической биотехнологии для создания новых «зеленых» удобрений с необходимыми свойствами. В частности, данный подход может решить проблему накопления в почвах тяжелых металлов и токсичных веществ.

#### **Заключение.**

Анализ научной литературы показал, что использование диатомита является перспективной отраслью для развития в ближайшем будущем, вследствие разнообразия способов его применения, а также разностороннего действия данного материала на почвенные биогеоценозы. Так, развитие методов добычи и переработки данного полезного ископаемого в Актюбинской области, где, как было сказано ранее, находятся огромнейшие его запасы откроет новые возможности не только для дела охраны окружающей среды, но также и для мира науки.

#### **Список литературы:**

1. Стифеев А.И., Лазарев В.И., Никитина О.В. Роль микроорганизмов в круговороте веществ и почвенном плодородии центрального черноземья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. №9.

2. Диатомит: неиспользованные возможности – Новости университета К. Жубанова 07.02.2019: <https://news-ru.arsu.kz/?p=9552>
3. Кульдеев Е.И., Бондаренко И.В., Темирова С.С., Тастанов Е.А., Нурлыбаев Р.Е. Состав и свойства диатомитового сырья Казахстана и синтез на его основе силикальцитов для получения строительной продукции // Комплексное использование минерального сырья. № 4. 2018. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.41>
4. Куликова А.Х., Яшин Е.А., Данилова Е.В. Эффективность использования диатомита и его смеси с минеральными удобрениями при возделывании озимой и яровой пшеницы // Вестник Ульяновской ГСХА. 2008. №1 (6).
5. Титова В.И., Козлов А.В. Агрехимическое и микробиологическое состояние ризосферы озимой ржи при применении диатомита // Агрехимический вестник. 2011. №2.
6. 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. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.29.3>
7. Куликова А.Х., Яшин Е.А. Роль кремния и высококремнистых пород в защите посевов сельскохозяйственных культур // Вестник Ульяновской ГСХА. 2015. №4 (32).
8. Hsien, KJ., Tsai, WT. & Su, TY. Preparation of diatomite–TiO<sub>2</sub> composite for photodegradation of bisphenol-A in water. *J Sol-Gel Sci Technol* 51, 63–69 (2009). <https://doi.org/10.1007/s10971-009-1921-6>

#### References:

1. Stifeev A.I., Lazarev V.I., & Nikitina O.V. (2019). Rol mikroorganizmov v krugovorote veshchestv i pochvennom plodorodii tsentralnogo chernozemya. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi selskokhozyaistvennoi akademii*, (9), 22-29. [In Russian].
2. Diatomit: neispolzovannye vozmozhnosti. (2019, February 7). *Novosti universiteta K. Zhubanova*: <https://news-ru.arsu.kz/?p=9552> [In Russian]
3. Kuldeev E.I., Bondarenko I.V., Temirova S.S., Tastanov E.A., Nurlybaev R.E. (2018). Sostav i svoistva diatomitovogo syrya Kazakhstana i sintez na ego osnove silikaltsitov dlya polucheniya stroitelnoi produktsii. *Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syrya*. №4. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.41> [In Russian]
4. Kulikova A.Kh., Yashin E.A., & Danilova E.V. (2008). Effektivnost ispolzovaniya diatomita i ego smesi s mineralnymi udobreniyami pri vozdelevanii ozimoi i yarovoi pshenitsy. *Vestnik Ulyanovskoi gosudarstvennoi selskokhozyaistvennoi akademii*, (1 (6)), 11-24. [In Russian].
5. Titova V.I., & Kozlov A.V. (2011). Agrokhimicheskoe i mikrobiologicheskoe sostoyanie rizosfery ozimoi rzhi pri primenenii diatomita. *Agrokhimicheskii vestnik*, (2), 34-38. [In Russian]
6. Kozlov A.V., Kulikova A.Kh., & Uromova I.P. (2019). Aktivnost silikatnykh bakterii i *Bacillus mucilaginosus* v dernovo-podzolistoi pochve v otnoshenii degradatsii diatomita Inzenskogo mestorozhdeniya. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*, 29, 3-14. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.29.3> [In Russian]
7. Kulikova A.Kh., Yashin E.A. (2015). Rol kremniya i vysokokremnistykh porod v zashchite posevov selskokhozyaistvennykh kultur. *Vestnik Ulyanovskoi gosudarstvennoi selskokhozyaistvennoi akademii*, (4 (32)), 30-35. [In Russian].
8. Hsien, KJ., Tsai, WT. & Su, TY. (2009). Preparation of diatomite–TiO<sub>2</sub> composite for photodegradation of bisphenol-A in water. *J Sol-Gel Sci Technol* 51, 63–69. <https://doi.org/10.1007/s10971-009-1921-6>

## ДИАТОМИТТИҢ ТОПЫРАҚ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ МИКРОБТЫҚ ЭКОЖҮЙЕЛЕРІНЕ ӘСЕРІ

Ә.Н. БАЙЗАҚ\* , С.Ф. СЕМЕНИХИНА 

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан.

\*E-mail: [timur.cheng@gmail.com](mailto:timur.cheng@gmail.com)

**Андатпа.** Бұл мақалада диатомиттің табиғи тыңайтқыш енгізгіш және топырақ құрылымдарының сауықтырушысы ретінде оларда өмір сүретін микробтық қауымдастықтарға әсері арқылы практикалық маңызы талқыланады. Осылайша, бүкіл әлемде тұрақты түрде нашарлап бара жатқан экологиялық жағдайға байланысты жер жамылғыларының жағдайы бақыланбайтын антропогендік әсердің, мұнай-газ өнеркәсібінің өнімдерінің, жеңіл және ауыр өнеркәсіп қалдықтарының, сондай-ақ сарқынды сулардың сүзілуінің салдарынан теріс өзгерістерге ұшырауда. Қарастырылып отырған мәселені шешу үшін топырақ биоремедиациясының еңқолжетімді және экологиялық тиімді әдістерін, атап айтқанда, кизельгур және ұқсас минералды қосылыстарды қолдану ұсынылады. Бұл қазба материалдар топырақты белгілі бір микроэлементтермен және қоректік заттармен қанықтыра алатын жақсы адсорбенттер болып табылады, бұл пайдалы микрофлораның - азотты түзететін, сульфит түзуші бактериялардың, актиномицеттердің көбеюіне және жағымсыз микрофлораның дамуын тежеуге – патогенді және шартты залалды микроскопиялық саңырауқұлақтардың, фитопатогендік вирустар мен бактериялардың дамуын тежеуге әкелуі мүмкін. Ғылыми мақала топырақ экожүйесінің ішіндегі микроорганизмдердің өзара әрекеттесуін: олардың симбиозы мен синергиясы, антагонистік әсерлері, өсімдіктер әлеміне әсері, сонымен қатар қаралып отырған үдерістердегі диатомиттің орнын теориялық зерттеу міндетін қояды. Атқарылған жұмыстың нәтижесі топырақты биоремедиациялауға қабілетті композиттік материал ретінде пайдалану мақсатында диатомитті өңдеу және өндіру саласын дамытудың теориялық негіздемесі болды.

**Түйін сөздер:** микрофлора, диатомит, топырақ, микробтық қауымдастықтар, қарашірік, сапрофитті микроағзалар, биологиялық белсенділік, биоремедиация.

## IMPACT OF DIATOMITE ON MICROBIAL ECOSYSTEMS OF SOIL STRUCTURES

A.N. BAIZAK\* , S.F. SEMENIKHINA 

Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

\*E-mail: [timur.cheng@gmail.com](mailto:timur.cheng@gmail.com)

**Annotation.** This article reviews the practical significance of diatomite as a natural fertilizer and soil health improving agent through its influence on microbial communities inhabiting them. Thus, in view of the persistently deteriorating ecological situation worldwide, the state of land cover suffers negative changes caused by uncontrolled anthropogenic impact, accumulating the products of oil industry, light and heavy industry waste, along with filtering all elements of wastewater. Soil bioremediation methods, in particular, with the use of diatomaceous earth and similar mineral compounds, are proposed to solve the problem under consideration. These fossil materials are good adsorbents that can saturate the soil with certain microelements and nutrients, which can lead to the growth of useful microflora - nitrogen-fixing, sulfite-reducing bacteria, actinomycetes, and to the suppression of undesirable microflora - pathogenic and conditional-pathogenic microscopic fungi, phytopathogenic viruses and bacteria. The scientific article aims to theoretically investigate the issues of interaction of microorganisms within the soil ecosystem: their symbiosis and synergy, antagonistic effect, impact on plant life, and the role of diatomite in the examined processes. The work has resulted in the theoretical justification of diatomite processing and mining industry development for its use in composite material capable of soil bioremediation.

**Key words:** microflora, diatomite, soil, microbial communities, humus, saprophytic microorganisms, biological activity, bioremediation.