

УДК 631.811.93; 631.823; 631.414; 631.417.7

DOI 10.24411/2309-4370-2020-11108

Статья поступила в редакцию 27.01.2020

## ВЛИЯНИЕ ДИАТОМОВОЙ ПОРОДЫ НА ГУМУСОВЫЕ ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ АГРОЭКОСИСТЕМ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

© 2020

**Козлов Андрей Владимирович**, кандидат биологических наук,  
доцент кафедры экологического образования и рационального природопользования  
Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина  
(г. Нижний Новгород, Российская Федерация)

**Куликова Алевтина Христофоровна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
заведующий кафедрой почвоведения, агрохимии и агроэкологии  
Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина  
(г. Ульяновск, Российская Федерация)

**Румянцев Руслан Иванович**, магистрант кафедры биологии, химии и биолого-химического образования  
Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина  
(г. Нижний Новгород, Российская Федерация)

**Аннотация.** В работе дана оценка физико-химических изменений гумусовых веществ в илово-коллоидной фракции, выделенной из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, при ее взаимодействии с диатомовой породой Инзенского месторождения в условиях агроэкосистемы Нижегородской области. Опыт представлял собой 3-летний (2015–2017 гг.) микрополевого эксперимент, заложенный на одном из полей ООО «Элитхоз». Диатомит вносили в почву делянок однократно в летний сезон 2014 года в дозах 3, 6 и 12 т/га, на которых впоследствии выращивали озимую пшеницу, ячмень и горох посевной (сорта районированы по Волго-Вятскому региону). Ежегодно, по завершении выращивания культур, из отобранных почвенных образцов выделяли илово-коллоидную фракцию гравиметрическим методом Качинского и анализировали на ИК-Фурье-спектрометре, определяя спектры поглощения в диапазоне частот 4000–400 см<sup>-1</sup>. Также в образцах почвы определяли содержание специфического органического вещества (гумуса) методом Тюрина со спектрофотометрическим окончанием. В результате проведенных исследований было выявлено, что взаимодействие диатомита с органической матрицей почвы привело к появлению органосиланов R<sub>n</sub>SiH<sub>4-n</sub> (930 см<sup>-1</sup>), кремнийорганических бескислородных Si-CH<sub>3</sub> (1253 см<sup>-1</sup>) и кислородосодержащих соединений Si-O-CH<sub>3</sub> (1110 см<sup>-1</sup>), а также силоксановых связей Si-O-Si (570 см<sup>-1</sup>). Полученные факты прямым образом указывают на формирование кремнийсодержащих органо-минеральных комплексов в илово-коллоидной фракции и на участие кремния в их образовании. Очевидно, что в образовании данных связей участвовало активное вещество диатомовой породы, представленное различными кремниевыми кислотами (H<sub>n</sub>SiO<sub>m</sub>). Применение диатомита способствовало сохранению содержания в почве гумусовых веществ на уровне контроля, что также может подтверждать наличие эффектов взаимодействия кремниевых веществ с органической частью и, как следствие, предохранению ее от деградации. На основе полученных результатов и анализа научной литературы предложен механизм возможного физико-химического взаимодействия активных кремниевых веществ с органической составляющей илово-коллоидной фракции дерново-подзолистой почвы, который заключается в полимеризации кремния на органо-минеральных комплексах (связи -Si-O-Si-), а также во взаимодействии гидролизующей части гумусовых веществ с кремнием с последующим образованием органосиланов, которые впоследствии соединяются с органической матрицей через связи Si-O-CH<sub>3</sub>. В связи с тем, что органическое вещество почв участвует в формировании экологической устойчивости почвенного покрова, установленные эффекты позволяют говорить о повышении агроэкологической стабильности гумусовых веществ в дерново-подзолистой почве за счет применения диатомовых пород.

**Ключевые слова:** почвенный покров; дерново-подзолистая легкосуглинистая почва; биогеоценоз; плодородие; диатомовая порода Инзенского месторождения; инфракрасный спектроскопический анализ; почвенное органическое вещество; илово-коллоидная фракция почвы; кремнийсодержащие реакционно-активные центры; содержание гумуса; экологическая устойчивость агроэкосистемы дерново-подзолистой почвы; биогеоценозические и экологические функции; устойчивость наземных экосистем.

### Введение

Органическая матрица, сосредоточенная в почвенном покрове, является составной и главной частью почвы как обособленного естественно-исторического тела, поскольку определяет его почвенную сущность. Без специфического органического вещества, накапливаемого преимущественно в гумусо-аккумулятивном горизонте, не могут идти почвооб-

разовательные процессы, так же как и, наоборот, – без формирующегося почвенного профиля иного вида органических веществ как гумусовые компоненты образовано быть не может. Различные фракции органической матрицы почв определяют физико-химическое и биохимическое взаимодействие веществ в дневных горизонтах почвенного профиля, которые впоследствии влияют на формирование нижележа-

щих генетических слоев за счет элювиально-иллювиальных и иных потоков [1–3].

Совместно с минералами илистой и коллоидной фракций специфическое органическое вещество определяет реакционно-активную часть почвы, формирует емкость поглощения и образует активные ионно-обменные центры – высокомолекулярные соединения мицеллярного строения. В составе почвенного органического пула обнаружено более 30 гидролазных и оксидоредуктазных ферментов, резерват которых участвует в системе «синтез-трансформация-закрепление-распад» собственно гумусовых кислот, а также в биохимической деградации минеральной фазы почвы. За счет активной способности к ионному обмену органическая составляющая почв принимает участие в ионообменных процессах на границе «твердая фаза-почвенный раствор». Кроме того, вследствие большой удельной поверхности гумусовых частиц (более 500 м<sup>2</sup>) и удержанию кислотных и основных катионов в диффузном слое мицелл гуминовых и фульвокислот органическое вещество принимает участие в формировании кислотно-основной буферности почв, что является одним из значимых критериев при оценке устойчивости экосистем [4–6].

Все указанные и иные свойства органического вещества почвы определяют свойства ее потенциального и эффективного плодородия (в том числе мобильный фонд элементов фитоценотического питания, оструктуренность и аэрированность дневных горизонтов, нейтральная реакция среды), а также базисные химические и физико-химические функции почвенного покрова биогеоценоза (в том числе катализ и ингибирование биохимических и иных процессов, депонирование влаги, адсорбция и десорбция реакционно-активных веществ, агрегация вещества для жизнеобеспечения микроорганизмов).

Значение органической составляющей в почвах невозможно переоценить ни в плане агрономического почвоведения (почва как главное средство производства сельскохозяйственной продукции), ни в части биосферологии (почва как единственный резерват специфических веществ, условий и энергии, необходимых для обеспечения замкнутости большого геологического и малого биологического потоков материи и, как следствие, для формирования устойчивости наземных экосистем). В связи с этим одной из стратегически значимых направлений развития современных агроэкосистем должно явиться активное сохранение органического вещества в пахотных землях и его стабилизация за счет агрохимических, мелиоративных и иных приемов [7; 8].

Современное управление отечественными агроэкосистемами зачастую не способно обеспечить сельскохозяйственные земли необходимым количеством органических удобрений и известковых мелиорантов, по сути являющихся единственными агентами удержания естественного органического вещества почвенного покрова от деградации [5; 9–11]. Вследствие таких тенденций одним из приоритетных направлений современного развития аграрного комплекса России является поиск и апробация альтернативных веществ, которые способствовали бы длительной стабилизации свойств почв и повышению показателей их плодородия. К таковым относятся

полифункциональные природные материалы – породы диатомового и цеолитового ряда, а также некоторые глины, являющиеся носителями высоких концентраций специфических активных кремниевых соединений. Ряд исследователей отмечают [12–18], что применение данных веществ в агроэкосистемах в качестве мелиорантов пролонгированного действия способствует нейтрализации избыточной кислотности почвы, усилению ее кислотно-основной буферности, пополнению биогенными элементами питания для агрофитоценозов, снижению подвижности ряда экотоксикантов и повышению физиологической устойчивости растений к фитопатогенам.

Одним из нераскрытых аспектов в данной теме остается вопрос о взаимодействии вещества рассматриваемых материалов с органической частью почвы. Поскольку, как было указано выше, органическая составляющая почвенного покрова агроэкосистем определяет большинство его биогеоценологических и экологических функций, решение данных вопросов позволит, с одной стороны, дополнить теорию о химии возможных механизмов органо-минерального взаимодействия неорганического вещества (в т.ч. почвообразующей породы) с органической матрицей почвы, а, с другой стороны, предложить агропромышленному сектору способ оптимизации и повышения стабильности почвенного плодородия в агроэкосистемах, что, как известно [19; 20], является одним из приоритетных вопросов охраны почв.

Целью работы явилось изучение влияния диатомита на статус гумусовых веществ в илово-коллоидной фракции дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на основе ИК-спектрального анализа с последующим определением потенциала стабилизации почвенного органического вещества и выявления возможного механизма органо-минерального взаимодействия в системе «почва-порода».

Объектами исследования являлись дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, сформированная в условиях Нижегородской области, и диатомит Инзенского месторождения (г. Инза, Ульяновская область).

Почва опытного поля дерново-подзолистая среднедерновая неглубокоподзоленная неоглеенная легкосуглинистая, сформированная на покровном суглинке; по КиДП [21] – тип дерново-элювиевый типичный: AY-EL-BEL-BT-D (C), по WRB – Umbric ALBELUVISOLS [22]. На момент закладки опыта почва характеризовалась низким содержанием гумуса (1,2%), среднекислой реакцией среды (4,8 ед. рН<sub>KCl</sub>), а также средней обеспеченностью подвижными формами фосфора (86 мг/кг), калия (110 мг/кг) и кремния (16 и 213 мг/кг).

Диатомит представляет собой рыхлую осадочную пористую породу органогенного генезиса, образованную из реликтовых остатков диатомовых водорослей [23]. По минералогическому составу порода сложена в основном опал-кристобалитовыми конкрециями, которые представляют собой неокристаллизованный оксид кремния различной степени гидратированности (SiO<sub>2</sub> · nH<sub>2</sub>O). Некоторые химические свойства Инзенского диатомита представлены в таблице 1.

**Таблица 1** – Обобщенный химический состав диатомовой породы Инзенского месторождения [24]

| Форма соединения<br>в породе | Ионообменная<br>емкость, мг-экв./100 г | 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  |
| – валовая форма, %           | 80                                     | 83,1  | 0,05                          | 1,25             | 0,52 | 0,48 |
| – подвижная форма, мг/кг     |  | 12200   | 37                            | 350              | 10   | 39   |

Ряд исследователей указывают [13; 15; 16; 24] на активную биохимическую минерализацию вещества диатомитов в почвах, особенно – в почвах кислого ряда, и, как следствие, активное участие в формировании свойств эффективного плодородия и агроэкологической устойчивости агроэкосистем.

#### Материалы и методика исследований

Опыт был заложен в 2014 году на одном из полей ООО «Элитхоз», расположенном в Борском муниципальном районе Нижегородской области. В эксперименте изучали диатомовую породу, которую вносили в почву в летний сезон 2014 года в дозах 3, 6 и 12 т/га. Осенью на делянки высевалась озимая пшеница (*Московская 39*), продуктивность которой учитывали в 2015 г. В 2016 г. на этих же делянках выращивали ячмень (*Велес*), в 2017 г. – горох посевной (*Чижминский 95*). Исследование представляло собой 4-вариантный микрополевого опыта (Контроль, Д<sub>1</sub>, Д<sub>2</sub> и Д<sub>3</sub>) с учетной площадью делянки 1 м<sup>2</sup>, их рандомизированным расположением и 4-кратной повторностью.

Почвенные образцы отбирали ежегодно в дни учета урожая сельскохозяйственных культур: из 5 точек с делянки, объединенные в 1 образец. Далее образцы высушивали и анализировали на ряд показателей, среди которых учитывались свойства, описывающие состояние функциональных химических связей, возникших при взаимодействии почвы с веществом диатомовой породы. Из почвенных образцов выделяли илово-коллоидную фракцию (<0,001 мм) методом пипетки (вариант Н.А. Качинского) [25], которую впоследствии высушивали, растирали в агатовой ступке и анализировали на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ 2201 (ООО «Инфраспек», Россия) в диапазоне частот 400–4000 см<sup>-1</sup> с использованием предметных стекол из бромида калия (KBr). Качественная оценка функционального состава илово-коллоидной фракции проводилась по общепринятым справочникам и публикациям [26–28]. Также в образцах почвы определяли содержание гумуса по методике Тюрина (ГОСТ 26213-91) спектрофотометрическим способом на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ (ООО «Экросхим», Россия) [25].

Исследование проведено на базе научно-образовательного центра «Химия молекул и материалов» и Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды Мининского университета в период 2014–2017 гг. Статистическую обработку результатов исследований выполняли по Б.А. Доспехову [29] методом дисперсионного анализа с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2007.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Инфракрасная спектроскопия является одним из классических фундаментальных методов исследова-

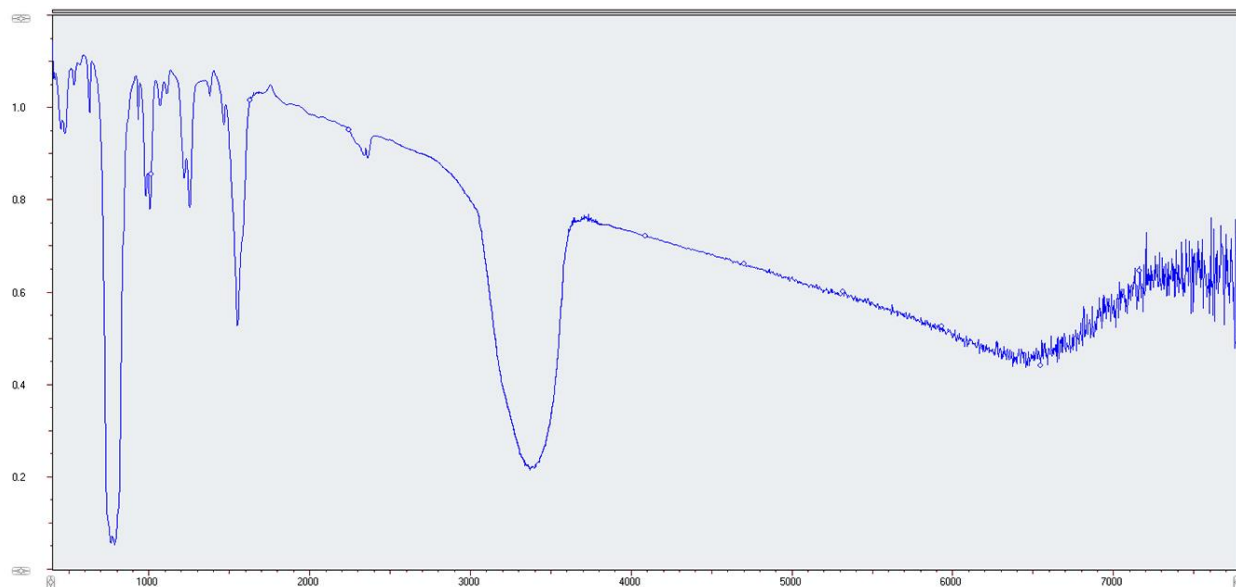
ния органических и минеральных веществ, в том числе в образцах почв. При использовании в почвоведении данный метод позволяет установить качественное присутствие важнейших атомных групп и типов химических связей в гумусовых веществах, идентифицировать отдельные индивидуальные соединения, изучить механизмы органо-минерального взаимодействия, адсорбцию и десорбцию почвенной влаги, а также определять присутствие тех или иных минералов в твердой фазе почвы [26].

Известно, что илистая и коллоидная фракции почвы состоят преимущественно из специфического органического вещества (гумусовые компоненты), а также из высокодисперсных вторичных минералов. Данные фракции имеют определяющее значение в формировании почвенного плодородия, поскольку они обладают высокой поглотительной способностью (определяют состав почвенно-поглощающего комплекса), участвуют в структурообразовании, а также содержат подвижные формы элементов азотного и зольного питания растений [27; 30; 31].

Данные таблицы 2 отражают качественный анализ и интенсивность зафиксированных инфракрасных спектров илово-коллоидной фракции, выделенной из дерново-подзолистой почвы, подверженной воздействию диатомовой породы; на рисунке 1 представлена спектральная картина одного из проанализированных образцов.

ИК-анализ илово-коллоидной составляющей почвы показал наличие кремнийсодержащих органо-минеральных комплексов в исследуемых образцах. Прежде всего, спектры инфракрасного поглощения указывают на наличие органической составляющей в почве, а именно гуминовых кислот (3000–3400 см<sup>-1</sup> – сильная полоса). Взаимодействие диатомита с почвенной органической матрицей привело к появлению органосилонов R<sub>n</sub>SiH<sub>4-n</sub> (930 см<sup>-1</sup> – слабая полоса), кремнийорганических бескислородных Si-CH<sub>3</sub> (1253 см<sup>-1</sup> – слабая полоса) и кислородосодержащих соединений Si-O-CH<sub>3</sub> (1110 см<sup>-1</sup>), а также силоксановых связей Si-O-Si (570 см<sup>-1</sup> – слабая полоса). Данные явления прямым образом указывают на формирование кремнийсодержащих органо-минеральных комплексов в илово-коллоидной фракции и на участие кремния в их образовании.

Также в образцах почвы, обработанной диатомовой породой, было обнаружено присутствие сопряженных колец гетероциклов (1219 см<sup>-1</sup>, 1550 см<sup>-1</sup> – сильные полосы) и наличие группировок Р-ОН и -COOH (2750–1750 см<sup>-1</sup> – отступ). В образцах были идентифицированы двойные пики поглощения в области 450 см<sup>-1</sup> и 478 см<sup>-1</sup>, которые, по-видимому, указывают на минеральную составляющую почвенных коллоидов.



**Рисунок 1** – Пример ИК-спектров илово-коллоидной фракции гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы, обработанной диатомитом (вар-т Д<sub>1</sub>, 3 т/га)

**Таблица 2** – Полосы поглощения ИК-спектров илово-коллоидной фракции дерново-подзолистой почвы при ее взаимодействии с диатомитом Инзенского месторождения (вар-т Д<sub>1</sub>, 3 т/га)

| Длина волны, см <sup>-1</sup> | Интенсивность поглощения      | Возможные химические связи (вещества)                   |
|-------------------------------|-------------------------------|---|
| 450                           | Слабая полоса                 | Неорганические вещества                                 |
| 478                           | Слабая полоса                 |   |
| 533                           | Очень слабая полоса           |   |
| 572                           | Очень слабая полоса           | Si–O–Si   |
| 630                           | Слабая полоса                 | Алкины  |
| 930                           | Слабая полоса                 | R <sub>n</sub> SiH <sub>4-n</sub> (органоциклосилоканы) |
| 979                           | Средняя полоса                | HRC=CR'H  |
| 1007                          | Средняя полоса                | R–O–O–R (перекиси)                                      |
| 1070                          | Слабая полоса                 | Цикло-формы (R <sub>2</sub> SiO) <sub>4</sub>           |
| 1110                          | Слабая полоса                 | Si–O–CH <sub>3</sub>                                    |
| 1219                          | Средняя полоса                | Пиридины и хинолины (сопряженные кольца)                |
| 1253                          | Средняя полоса                | Si–CH <sub>3</sub>                                      |
| 1380                          | Слабая полоса                 | –CH <sub>2</sub> –                                      |
| 1465                          | Слабая полоса                 | N–N=O (нитрозамины)                                     |
| 1550                          | Сильная полоса                | Пиридины и хинолины (сопряженные кольца)                |
| 2340                          | Очень слабая полоса (широкая) | P–OH, COOH  |
| 2359                          | Очень слабая полоса           | P–OH, COOH  |
| 3440                          | Сильная полоса                | –NH <sub>2</sub>  |

В таблице 3 показано содержание гумуса в исследуемой почве, подверженной воздействию диатомовой породы. Было выявлено, что в течение 3 лет взаимодействия диатомита с почвой содержание гумуса, как минимум, сохранялось на исходном уровне.

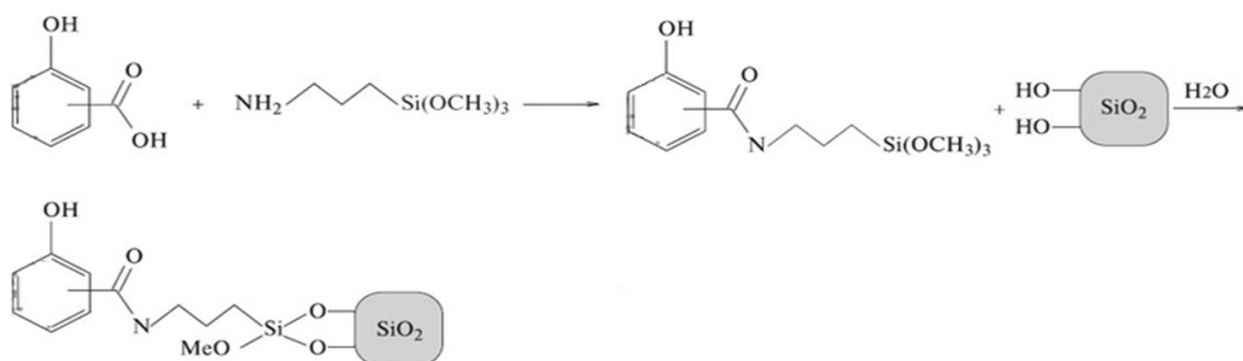
На вариантах с дозами в 6 и 12 т/га (Д<sub>2</sub> и Д<sub>3</sub>) содержание специфического органического вещества в почве незначительно повышалось относительно контрольных значений. В среднем за три года наблюдений была установлена стабилизация общего накопления гумусовых компонентов в почве. С учетом того, что исходный диатомит не содержит органических веществ и в эксперименте какие-либо иные органические компоненты не участвовали, предполагается, что именно за счет взаимодействия активных кремниевых кислот, образующихся при хи-

мической деградации вещества породы в почве, с ее органической матрицей происходит стабилизация гуминовых компонентов в гумусо-аккумулятивном горизонте и, как следствие, их физико-химическое удержание от разрушения. Данная гипотеза подтверждается стабильным уровнем содержания гумуса в почве в течение 3 лет ведения эксперимента.

На основании представленных результатов исследования, с учетом изменений, выявленных в почве на других вариантах заложенного опыта, а также на основании анализа научной литературы [26; 27; 30; 32; 33], гипотетически предполагается один из возможных механизмов физико-химического взаимодействия вещества диатомита с органической частью почвы на уровне илово-коллоидной фракции (рис. 3).

**Таблица 3** – Динамика содержания гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в горизонте А<sub>пах</sub> в зависимости от дозы диатомовой породы

| Вариант           | 2015 год |            | 2016 год |            | 2017 год |            | В среднем за 3 года |            |
|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|---------------------|------------|
|                   | гумус, % | ± к контр. | гумус, % | ± к контр. | гумус, % | ± к контр. | гумус, %            | ± к контр. |
| Контроль          | 1,21     | –          | 1,24     | –          | 1,22     | –          | 1,22                | –          |
| Д <sub>1</sub>    | 1,22     | 0,01       | 1,26     | 0,02       | 1,24     | 0,02       | 1,24                | 0,02       |
| Д <sub>2</sub>    | 1,23     | 0,02       | 1,27     | 0,03       | 1,26     | 0,04       | 1,25                | 0,03       |
| Д <sub>3</sub>    | 1,26     | 0,05       | 1,27     | 0,03       | 1,26     | 0,04       | 1,26                | 0,04       |
| НСР <sub>05</sub> | 0,04     |            | 0,03     |            | 0,07     |            | –                   |            |

**Рисунок 3** – Механизм возможного физико-химического взаимодействия активного вещества диатомита с органической частью илово-коллоидной фракции дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

Минерал подкласса гидроксидов (опал-кристобалит), составляющий основу массы диатомовой породы, может взаимодействовать с гумусовыми веществами почвы по анионному механизму. Основное направление данной реакции объясняется электронными эффектами карбоксильных групп и бензольных колец, имеющих в коллоидах гумуса. В исходном соединении (органическая матрица почвы) наблюдается смещение электронной плотности к карбонильному атому кислорода (π-, π-сопряжение), что вызывает дополнительную поляризацию связи -ОН и, таким образом, возрастает положительный заряд атома водорода, обуславливая его подвижность (наличие кислотных свойств). С другой стороны, влияние гидроксильной группы в бензольном кольце приводит к понижению электронной плотности на атоме углерода в карбоксильной группе.

Подобное влияние дает возможность протекания реакции нуклеофильного замещения группы -ОН с образованием более сложных соединений – в рассматриваемом случае происходит замена на аминогруппу и присоединение органосилана к бензольному кольцу через связь C-N. В качестве нуклеофила здесь может выступать реагент, несущий неподеленную электронную пару. Также стоит учесть, что карбоксильная группа в целом проявляет отрицательный индуктивный и мезомерные эффекты по отношению к бензольному кольцу. В последующем анионы гуминовых веществ замещают ОН-группы на поверхности минерала. Основу специфической (гумусовой) составляющей почвы являются гуминовые

и фульвокислоты, активными центрами которых являются полифенолы, которые и вступают в реакции взаимодействия с кремниевыми веществами.

Предполагается, что органосиланы могут образовываться в почве при взаимодействии кремнийсодержащих соединений с гидролизуемой частью гумуса. Образующиеся в результате реакции взаимодействия органосиланов с породой аминокремниевых соединений вступают в реакцию с полифенолами, что приводит к последующему связыванию кремния и формированию дополнительных, в качестве – новых связей на разделе «гумус-порода».

#### Выводы

Отсутствие в почве необходимого количества реакционно-активных соединений кремния приводит к ускоренной деградации ее специфического органического вещества по причине разрушения органоминеральных веществ и, как следствие, к снижению агроэкологической устойчивости территории.

В результате проведенных исследований описаны типы химического взаимодействия между активной частью вещества диатомита Инзенского месторождения и илово-коллоидной фракцией дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Установлено стабилизирующее воздействие диатомовой породы на содержание гумусовых веществ, выраженное в удержании количества специфического органического вещества на уровне исходной почвы. Это подтверждается тем, что кремний способен полимеризоваться на органоминеральных комплексах (связи -Si-O-Si-), что и способствует сохранению в почве органической части.

На основании ИК-анализа илово-коллоидной составляющей почвы предполагаются исходные реакции взаимодействия гидролизующей части гуминовых веществ с кремнием с последующим образованием органосилонов, которые впоследствии соединяются с органической матрицей через связь  $\text{Si-O-CH}_3$ , что подтверждается ИК-спектральным анализом.

### Список литературы:

1. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. 336 с.
2. Самиева Ж.Т., Капарова М.К., Эрматова В.Б., Миралы кызы А. Экологическая роль органического вещества почв // Наука и новые технологии. 2013. № 7. С. 129–131.
3. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / под ред. В.Н. Кудеярова, И.В. Иванова. М.: ГЕОС, 2015. 925 с.
4. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ, 2012. 412 с.
5. Марцинкявичене А., Богужас В., Балните С., Пупалене Р., Величка Р. Влияние севооборотов, промежуточных посевов и органических удобрений на ферментативную активность почвы и содержание гумуса в органическом земледелии // Почвоведение. 2013. № 2. С. 219–225.
6. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1992. 400 с.
7. Никитин Е.Д., Скворцова Е.Б., Корчегин А.Н., Никитина О.Г., Иванов О.П., Сабодина Е.П., Воронцова Е.М. О развитии учения об экологических функциях почвенного покрова и других геосфер // Почвоведение. 2010. № 7. С. 771–778.
8. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
9. Мамонтов В.Г., Когут Б.М., Родионова Л.П., Рыжков О.В. Влияние сельскохозяйственного использования чернозема типичного на его структурное состояние и содержание органического углерода в агрегатах разного размера // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2016. № 6. С. 22–31.
10. Аканова Н.И., Шильников И.А., Ефремова С.Ю., Аваков М.С. Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 1. С. 28–35.
11. Осипов А.И. Научные основы химической мелиорации почв и перспективы их дальнейшего изучения // Агрофизика. 2012. № 3 (7). С. 41–50.
12. Агафонов Е.В., Хованский М.В. Влияние бентонита на повышение плодородия чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2014. № 5. С. 597–601.
13. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Погорелов А.Г. Сравнительная характеристика некоторых кремниевых удобрений // Агрохимия. 2011. № 11. С. 25–30.
14. Васильева Н.Г. Оценка эффективности трепела как почвенного мелиоранта // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 3. С. 24–30.
15. Капранов В.Н. Диатомит как кремнийсодержащее удобрение // Плодородие. 2006. № 4. С. 12–13.
16. Козлов А.В. Экологическая оценка влияния диатомита на фитоценоз и состояние почвенно-биотического комплекса светло-серой лесной легкосуглинистой почвы: дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2013. 182 с.
17. Лобода Б.П., Багдасаров В.Р., Фицура Д.Д. Влияние удобрения на основе цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения на урожайность и качество картофеля // Агрохимия. 2014. № 3. С. 28–35.
18. Самсонова Н.Е. Кремний в растительных и животных организмах // Агрохимия. 2019. № 1. С. 86–96.
19. Савич В.И., Седых В.А., Гераськин М.М. Охрана почв. М.: Проспект, 2016. 352 с.
20. Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Калинин В.П., Глинушкин А.П. Управляемая коэволюция педосферы – реальная биосферная стратегия XXI века (вклад в развитие ноосферных идей В.И. Вернадского) // Агрохимия. 2018. № 11. С. 3–18.
21. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
22. Наумов В.Д. География почв. Почвы России. М.: Проспект, 2016. 344 с.
23. Дистанов У.Г. Минеральное сырье. Опал-кристаллитовые породы: справочник. М.: Геоинформарк, 1998. 27 с.
24. Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. 176 с.
25. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.
26. Орлов Д.С., Осипова Н.Н. Инфракрасные спектры почв и почвенных компонентов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 89 с.
27. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2004. 248 с.
28. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. 55 с.
29. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.
30. Игнатъева С.Л., Черников В.А., Кончиц В.А. Изучение влияния систем удобрения и обработки почвы на гумусовые кислоты дерново-подзолистой почвы с использованием ИК-спектроскопии // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2008. Вып. 2. С. 32–41.
31. Прилуцкая Н.С., Корельская Т.А., Попова Л.Ф., Леонтьева В.А. Исследование структурно-функционального состава гумусовых кислот почв Евроарктического региона методом ИК-спектроскопии // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 4. С. 26–35.
32. Карпюк Л.А. Алкоксисилильные производные гуминовых веществ: синтез, строение и сорбционные свойства: дис. ... канд. хим. наук. М., 2008. 187 с.
33. Офицеров Е.Н., Рябов Г.К., Убаськина Ю.А., Климовский А.Б., Фетюхина Е.Г. Кремний и гуминовые кислоты: моделирование взаимодействий в почве // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 4 (2). С. 550–557.

**THE INFLUENCE OF DIATOMITE ROCK ON HUMUS SUBSTANCES  
OF SOD-PODSOLIC SOIL IN CONDITIONS OF AGRO ECOSYSTEMS  
AND PHYSICAL-CHEMICAL MECHANISM OF THEIR INTERACTION**

© 2020

**Kozlov Andrey Vladimirovich**, candidate of biological sciences,  
associate professor of Ecological Education and Rational Environmental Management Department  
*Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University (Nizhny Novgorod, Russian Federation)*

**Kulikova Alevtina Khristoforovna**, doctor of agricultural sciences, professor,  
head of Soil Science, Agrochemistry and Agroecology Department  
*Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (Ulyanovsk, Russian Federation)*

**Rumyantsev Ruslan Ivanovich**, master student  
of Biology, Chemistry and Biological and Chemical Education Department  
*Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University (Nizhny Novgorod, Russian Federation)*

**Abstract.** The paper provides an assessment of physical and chemical changes of humus substances in the sludge-colloidal fraction, isolated from the sod-podsolic sandy loamy soil, during its interaction with the diatomite rock of the Inzen deposit in conditions of agro ecosystem of the Nizhny Novgorod Region. The experience was a 3-year (2015–2017) microfield experiment, laid down on one of the fields of «Elitkhoz». The diatomite was added to soil once during the summer season of 2014 in doses of 3, 6 and 12 t/ha, on which winter wheat, barley and peas were subsequently grown (varieties are zoned in the Volga-Viatskiy Region). Each year, upon completion of crop cultivation, a silo-colloidal fraction was isolated from selected soil samples by the Kachinsky gravimetric method and analyzed on an IR-Fourier-spectrometer, determining absorption spectra in frequency range of 4000–400 cm<sup>-1</sup>. In soil samples the content of specific organic substance (humus) was also determined by the Thurin method with spectrophotometric termination. The studies revealed that interaction of diatomite with the organic soil matrix resulted in organosilanes R<sub>n</sub>SiH<sub>4-n</sub> (930 cm<sup>-1</sup>), organosilanes oxygen-free Si-CH<sub>3</sub> (1253 cm<sup>-1</sup>) and oxygen-containing compounds Si-O-CH<sub>3</sub> (1110 cm<sup>-1</sup>), as well as siloxane bonds of Si-O-Si (570 cm<sup>-1</sup>). The obtained facts directly indicate formation of silicon-containing organo-mineral complexes in sludge-colloidal fraction and participation of silicon in their formation. It is evident that an active diatomite represented by various silicon acids (H<sub>n</sub>SiO<sub>m</sub>) was involved in formation of these bonds. The use of diatomite has helped to maintain content of humus substances in soil at the control level, which can also confirm effects of interaction of silicon substances with organic part and, as a result, prevent its degradation. Based on the obtained results and analysis of scientific literature, a mechanism is proposed for possible physical-chemical interaction of active silicon substances with an organic component of the sludge-colloidal fraction of the sod-podsolic soil, which consists in polymerization of silicon on organo-mineral complexes (bonds -Si-O-Si-), as well as in interaction of the hydrolyzed part of humus substances with silicon with subsequent formation of organosilanes, which are subsequently connected with an organic Si-O-CH<sub>3</sub> matrix. Due to the fact that organic matter of soils is involved in the formation of ecological stability of soil cover the established effects make it possible to speak about the increase of agro ecological stability of humus substances in sod-podsolic soil due to the use of diatomite rocks.

**Keywords:** soil cover; sod-podsolic sandy loam soil; biogeocenosis; fertility; diatomite rock of Inzen deposit; infrared spectroscopic analysis; soil organic matter; sludge-colloidal fraction of soil; siliceous reactionary and active centers; maintenance of humus; ecological stability of agro ecosystem of sod-podsolic soil; biogeocenotic and ecological functions; stability of land ecosystems.

\* \* \*

УДК 574 (470.345) (045)

DOI 10.24411/2309-4370-2020-11109

Статья поступила в редакцию 30.11.2019

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
С ПОМОЩЬЮ РАСТЕНИЙ-БИОИНДИКАТОРОВ В УСЛОВИЯХ  
РАЗЛИЧНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРОДОВ САРАНСК И ИНСАР**

© 2020

**Лабутина Марина Викторовна**, кандидат биологических наук,  
доцент кафедры биологии, географии и методик обучения  
**Маскаева Татьяна Александровна**, кандидат биологических наук,  
доцент кафедры биологии, географии и методик обучения  
**Чегодаева Нина Дмитриевна**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры биологии, географии и методик обучения

**Курынова Евгения Александровна**, магистрант кафедры биологии, географии и методик обучения  
*Мордовский государственный педагогический институт имени М.Е. Евсевьева  
(г. Саранск, Российская Федерация)*

**Аннотация.** В статье приведены результаты изучения реакции березы бородавчатой как основной городской культуры, используемой в озеленении городов, на разный уровень антропогенного воздействия. Ежегодные исследования свидетельствуют о том, что в регионе нет устойчивой тенденции по снижению техно-  
Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 1 (30)