

## ПОЧВЕННЫЕ ГЕЛИ: ВЫДЕЛЕНИЕ ИЗ ПОЧВ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ, СОСТАВА И ПРОВЕРКА ВЗАИМОСВЯЗИ С НЕКОТОРЫМИ СВОЙСТВАМИ ПОЧВ

И.В. Горепекин<sup>1✉</sup>, Г.Н. Федотов<sup>1</sup>, Г.Н. Бузук<sup>2</sup>,  
О.А. Салимгареева<sup>1</sup>, Ю.П. Батырев<sup>3</sup>, А.И. Сухарев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

<sup>2</sup>УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет» (ВГМУ), Республика Беларусь, 210009, г. Витебск, пр-т Фрунзе, д. 27

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

decembrist96@yandex.ru

Предложен метод выделения органоминеральных гелей из почв, основанный на обработке почвенной суспензии 0,2 н раствором гидроксида аммония, ультразвуковом диспергировании и последующем центрифугировании. Установлено, что выделенные частицы имеют размеры от десятков до сотен микрон, низкую плотность, способны к коагуляции и образуют твердообразные структуры, что подтверждает их гелевую природу. С помощью рентгено-локального микроанализа показан органоминеральный состав гелей. Количественное содержание органоминеральных гелей составило 10 % для дерново-подзолистой почвы, 12 % для серой лесной и 28 % для чернозема выщелоченного. Взаимосвязи между содержанием гелей и водоустойчивостью почв, историей землепользования или размером почвенных агрегатов не обнаружено. Разработанный метод может быть использован для количественной оценки органоминеральных гелей в почвах разного типа.

**Ключевые слова:** строение почвенных коллоидов, ультразвуковая обработка почвенных суспензий, почвенные коллоиды и свойства почв

**Ссылка для цитирования:** Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Бузук Г.Н., Салимгареева О.А., Батырев Ю.П., Сухарев А.И. Почвенные гели: выделение из почв, определение содержания, состава и проверка взаимосвязи с некоторыми свойствами почв // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 4. С. 74–84. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-4-74-84

Коллоидная составляющая почв представляет собой совокупность почвенных частиц размером от 1 до 100 нм [1]. В некоторых случаях к почвенным коллоидам исследователи относят частицы размером до 1000 нм [2–6], иногда до 2000 нм [7]. Коллоиды в почвах определяют закрепление и миграционную способность загрязняющих [8–10] и питательных [2, 11] веществ, а также участвуют в формировании структурной устойчивости почв [12, 13].

Основными компонентами почвенных коллоидов являются [1, 2, 6] глинистые коллоиды (слоистые минералы), оксиды железа, алюминия и кремния, аморфные минералы и органические коллоиды. Эти компоненты взаимодействуют с помощью различных связей [13–16]: гидрофобных, электростатических, Ван-дер-Ваальсовых, водородных и др. Струк-

турная организация образующихся при этом систем остается дискуссионной.

В середине XX в. А.Ф. Тюлин предложил концепцию пленок-гелей, которые состоят из свободных или рыхлосвязанных коллоидов, находящихся на поверхности грубодисперсных первичных частиц [17]. В статье [18] эта теория нашла подтверждение. С помощью сканирующей электронной микроскопии и низкотемпературного озоления в вакууме авторы [18] обнаружили наличие полупроницаемых для электронов пленок органического вещества толщиной вплоть до 12 мкм на поверхностях минералов в почвах. Позднее с помощью просвечивающей электронной микроскопии группа отечественных [19] и группа зарубежных авторов [20] обнаружили органические вещества в виде аморфных областей вокруг минеральных частиц. В обоих случаях было выдвинуто предположение о том, что эти органические вещества являются гуминовыми веществами,

подтверждавшееся тем, что фрактальная размерность почв, определенная с помощью метода малоуглового рассеяния нейтронов, близка фрактальной размерности гуминовых веществ [19].

Отметим, что сходная позиция относительно взаимодействия органического вещества и минералов распространена в грунтоведении. Так, «рассеянное органическое вещество содержится в грунтах в виде тонких фракций, поверхностных «пленок» или «рубашек» вокруг частиц и в целом более-менее равномерно распределено по всей толще грунта» [21, с. 114]. Причем в «...зависимости от склонности «рубашек» к воде они могут быть гидрофильными или гидрофобными, придавая и грунту в целом гидрофобные или гидрофильные свойства» [21, с. 223].

Несмотря на прогресс в развитии представлений о структурной организации коллоидной составляющей почв и их существования в виде органоминеральных гелей (ОМГ) вопросы ее влияния на почвенные свойства остаются малоизученными. Это связано, по-видимому, с отсутствием надежных методов выделения ОМГ из почв, не позволяющим установить взаимосвязь между количеством и составом ОМГ в почвах и свойствами почв.

Первая попытка выделения почвенных ОМГ была предпринята А.Ф. Тюлиным методом дробной пептизации [17]. Однако данный метод малопроизводителен и трудоемок. Кроме того, при его использовании выделенные гели загрязняются примесями, затрудняющими дальнейшему изучению образца.

Известен также метод выделения ОМГ из почв, основанный на их фракционировании по плотности с применением тяжелых жидкостей, центрифугирования и ультразвуковой обработки [22]. Слабая сторона данного метода заключается в том, что с его помощью выделяются не ОМГ почв, а органоминеральные ассоциации, имеющие не только коллоидную, но и неколлоидную природу.

## Цель работы

Цель работы — разработка метода выделения из почв органоминеральных гелей, определение их количества и состава, проверка влияния органоминеральных гелей на некоторые почвенные свойства.

## Объекты и методы исследования

Для проведения исследований были использованы суглинистые почвы: дерново-подзолистая (Московская обл.), серая лесная (Тульская обл.),

чернозем выщелоченный (Орловская обл.), чернозем типичный (Курская обл.) и песчаный субстрат (зарастающий песчаный отвал, Витебская область, Республика Беларусь).

*Лазерная дифрактометрия.* После осаждения неколлоидных минеральных частиц из почвенной суспензии размер частиц в надосадочной жидкости определяли с помощью лазерного дифрактометра Mastersizer 3000 фирмы Malvern (Великобритания). Эксперименты проводили в трехкратной повторности.

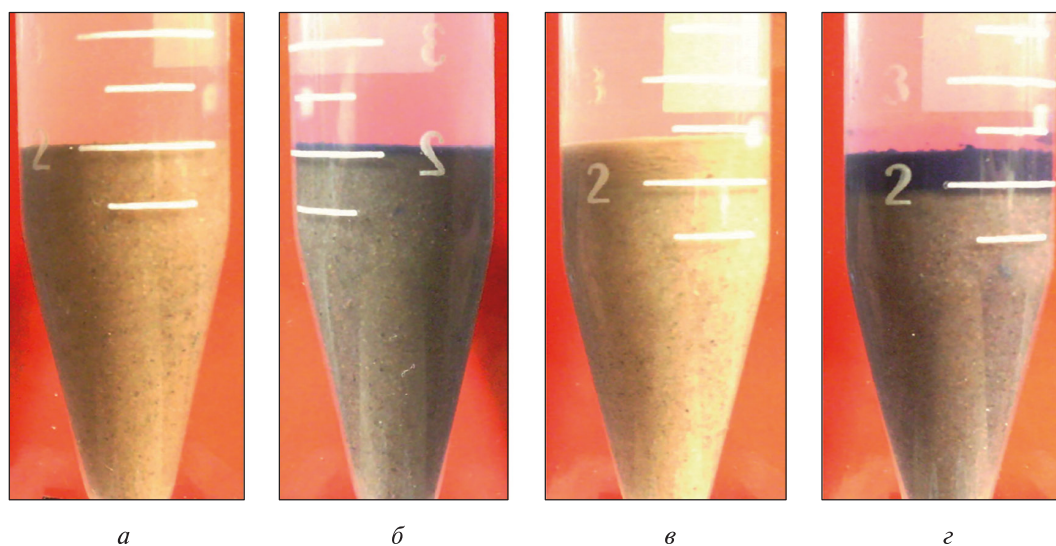
*Растровая электронная микроскопия.* Электронно-микроскопическое исследование почвенных гелей проводили с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) JEOL-6060A (фирма JEOL, Япония) при ускоряющем напряжении 20 кВ. На образцы перед исследованием напыляли золото, используя установку JFC-1600 (фирма JEOL, Япония).

*Рентгено-локальный микроанализ.* Для выяснения химического состава почвенных гелей их наносили на поверхность слюды и высушивали до воздушно-сухого состояния. Затем проводили рентгено-локальный микроанализ с помощью энергодисперсионного спектрометра РЭМ JEOL-6060A. При обсчете результатов из рассмотрения исключали элементы, вносимые в образцы при их подготовке.

## Результаты и обсуждение

*Методика выделения коллоидной составляющей почв.* При изучении удельной поверхности песка с помощью растворов метиленового голубого, в соответствии с известным методом [23], было обращено внимание на то, что при малой концентрации красителя в растворе контактирующие с ним пески приобретают сероватую окраску, раствор обесцвечивается, а над зоной песка при отстаивании формируется тонкий слой интенсивно-синего цвета из коллоидов, имеющих высокое сродство с катионными красителями. Если такой песок обработать в избытке воды (1 : 5 по объему) ультразвуком с последующим отстаиванием в течение одних суток, то на поверхности песка сформируется довольно рыхлый слой частиц, окрашенных метиленовым синим в интенсивный синевфиолетовый цвет (рис. 1).

Поведение красителя в системе можно объяснить наличием на поверхности частиц песка коллоидных структур — пленок [24]. Они имеют высокую удельную поверхность, поэтому хорошо сорбируют краситель. При ультразвуковой обработке пленки гелей отделяются от песчинок. Сами частицы песка оседают при отстаивании прежде всего вследствие высо-



**Рис. 1.** Песчаная почва после суспендирования с водой и отстаивания в течение суток до (а, б) и после обработки ультразвуком (в, г) и окрашивания метиленовым синим (б, г)

**Fig. 1.** Sandy soil after suspension with water and settling for 24 hours before (a, б) and after ultrasonic treatment (в, г) and staining with methylene blue (б, г)

кой плотности по сравнению с гелями. Пленки гелей из коллоидных частиц, закрепивших краситель, оседают позднее и создают зоны с большей концентрацией гелей. Это отражается в появлении сине-фиолетовой окраски в верхней части центрифужной пробирки.

Данный опыт свидетельствует о том, что гели можно отделить от поверхности минеральных частиц путем ультразвуковой обработки суспензии почвы. Это связано с тем, что в ультразвуковом высокоинтенсивном поле происходят различные явления: появляются звукокапиллярные эффекты, возникают кавитация и давление звукового излучения. Как известно, особенно эффективно использование ультразвука для очистки поверхностей, если применять вместо воды растворы, ослабляющие связь гелей с минеральными поверхностями [25]. Кроме того, из проведенного эксперимента следует, что при отстаивании или центрифугировании минеральные частицы оседают в водных растворах быстрее гелей, включающих в свой состав воду и поэтому имеющих более низкую плотность.

На основании опыта была создана методика выделения почвенных гелей.

К 10 г почвы добавляли 30 мл 0,2 н аммиачной воды, обеспечивающей возникновение одноименного отрицательного заряда на поверхностях большинства минералов и органического вещества почв. Отметим, что аналогичное соотношение почвы и растворителя используется, например, при выделении дисперсного органического вещества [26]. Пре-

имущество аммиака состоит в том, что он при высушивании гелей образует карбонаты, которые разлагаются при относительно низких температурах (до 70 °С) и не мешают изучению ОМГ.

Суспензию почвы в течение 60 с обрабатывали ультразвуком, внося волновод в центрифужную пробирку объемом 50 мл. Использовали ультразвуковой диспергатор МОД МЭФ 91.1 (Россия) — интенсивность ультразвукового воздействия составляла до 250 Вт/см<sup>2</sup> при частоте 22 кГц и амплитуде 45 мкм.

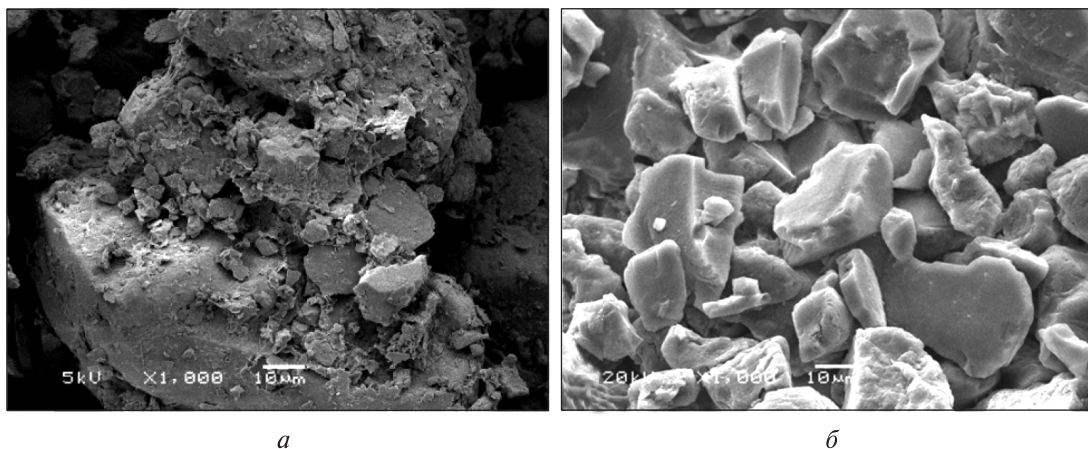
На центрифуге Eppendorf 5804 с ротором А-4-44 при 1000 об./мин (100 g) в пробирках на 50 мл осаждали минеральные неколлоидные частицы в течение 5 мин. Обращает на себя внимание относительно ровная и гладкая поверхность неколлоидных минеральных частиц после отделения от них почвенных коллоидов, которая до их отделения была намного более шероховатой (рис. 2).

Порцию центрифугата высушивали досуха на песчаной бане с досушкой в термостате при температуре 105 °С., сухой остаток взвешивали.

Расчет количества (%) выделенного геля проводили по формуле

$$C_{\text{геля}} = (M_{\text{геля}} / M_{\text{почвы}}) \cdot 100.$$

По полученным результатам сделан вывод о том, что при подобной обработке неколлоидные минеральные частицы довольно хорошо очищаются от почвенных коллоидов, перешедших в надосадочную жидкость. Помимо результатов РЭМ об этом свидетельствует осветление



**Рис. 2.** Электронно-микроскопические изображения дерново-подзолистой почвы: исходных минеральных почвенных частиц (а) и после отделения от них гелей (б)

**Fig. 2.** Electron microscopic images of soddy-podzolic soil: initial mineral soil particles (a) and after gel separation from them (b)

поверхности неколлоидных минеральных частиц вследствие из-за удаления с них геля.

*Проверка соответствия выделенных коллоидов свойствам гелей.* На следующем этапе исследования установили, что в надосадочной жидкости присутствуют частицы гелей, которые должны обладать следующими свойствами [27]:

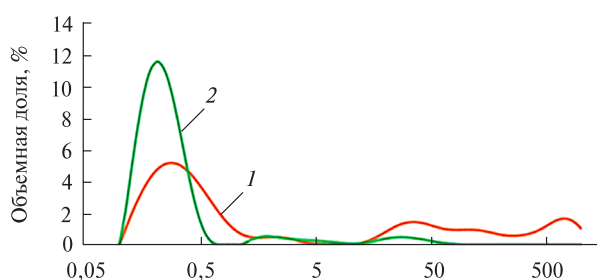
1) состоять из коллоидных частиц твердой фазы, которые при взаимодействии включают в свой состав различное количество воды, поэтому плотность гелей может приближаться к плотности воды;

2) иметь способность к коагуляции при повышении ионной силы и температуры суспензии;

3) существовать в виде твердообразной фазы, характеризующейся предельным напряжением сдвига и тиксотропными свойствами.

Для установления свойства 1 изучили надосадочную жидкость, полученную путем центрифугирования почвенных суспензий с помощью лазерного дифрактометра. Результаты дифрактометрии свидетельствуют о том, что взвешенные в суспензии частицы имеют размеры в десятки и сотни микрон (рис. 3). Эти результаты согласуются с данными работы [28], в которой указано, что илистая фракция почв может иметь размеры десятки микрон, а их средняя плотность при этом может быть оценена как  $1,02 \text{ г/см}^3$ , т. е. близко к плотности воды. Такая низкая плотность достигается благодаря высокому содержанию гуминовых веществ, которые, как показано в работе [29], имеют высокую пористость. Это согласуется с данными о существовании гуминовых веществ в виде фрактальных структур [30–32].

Для определения свойства 2 гелей — коагуляции — увеличили ионную силу и повыси-

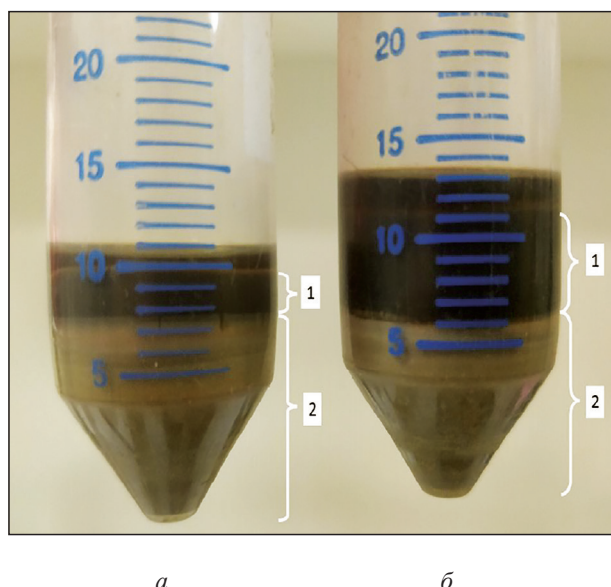


**Рис. 3.** Распределение частиц по размеру в жидкости над осадками минеральных частиц из дерново-подзолистой и серой лесной почв: 1 — дерново-подзолистая; 2 — серая лесная

**Fig. 3.** Particle size distribution in the liquid above the sediment of mineral particles from soddy-podzolic and gray forest soils: 1 — soddy-podzolic; 2 — gray forest soil

ли температуру суспензий. В пробирки после первого центрифугирования вносили по 10 г 1 н раствора хлорида калия и нагревали пробирки с суспензиями в течение 1 ч на водяной бане при температуре  $90^\circ\text{C}$ . Для осаждения коагулировавших коллоидов провели повторное центрифугирование уже при 5000 об./мин в течение 10 мин. После этого было хорошо видно, что содержимое пробирок состоит из трех слоев (рис. 4): внизу находится слой из твердых минеральных частиц, выше над ним — гелевый твердообразный слой, а еще выше над ними — жидкость, имеющая цвет, очень близкий к гелевому слою. Результаты эксперимента позволяют подтвердить второе свойство гелей — способность к коагуляции.

Для определения свойства 3 — способности образовывать твердообразные структуры — приводим изображение фрагмента геля, выде-



**Рис. 4.** Отношения объемов органоминеральных гелей (1) и неколлоидных минеральных частиц (2) (в верхней части пробирок также присутствует слой надосадочной жидкости): *a* — дерново-подзолистая почва; *b* — серая лесная почва

**Fig. 4.** Volume ratios of organomineral gels (1) and non-colloidal mineral particles (2) (a layer of supernatant liquid is also present at the top of the test tubes): *a* — soddy-podzolic soil; *b* — gray forest soil



**Рис. 5.** Фрагмент гелевого слоя, выделенного из чернозема выщелоченного

**Fig. 5.** Fragment of a gel layer isolated from leached chernozem

ленного из чернозема выщелоченного (рис. 5). На фотографии видно, что частица имеет постоянные размеры и форму, т. е. является твердообразной. Таким образом, выделенная надосадочная жидкость обладает свойствами

суспензии, содержащей гели: низкой плотностью, способностью к коагуляции и твердообразностью.

Для уточнения элементного состава гелей провели рентгено-локальный микроанализ на РЭМ (табл. 1). Коллоидные составляющие дерново-подзолистой и серой лесной почв имеют сходное содержание оксидов алюминия, магния и железа, слабые отличия по содержанию кремния. Наиболее выражена разница в содержании углерода: 13,8 и 19,8 % для дерново-подзолистой и серой лесной почвы соответственно, что согласуется с отличиями в объемном содержании гелей (см. рис. 4).

*Уточнение методики в целях количественного выделения гелей из почв.* На следующем этапе исследования изучили влияние количества обработок почвы аммиаком и ультразвуком на количество выделяемых почвенных гелей. После первого выделения гелей и удаления надосадочной жидкости в пробирки еще раз доливали раствор гидроксида аммония, проводили обработку ультразвуком и центрифугирование при 1000 об./мин. Такую обработку проводили трижды. Три полученные объема суспензий с гелевой фракцией сливали вместе и удаляли из них воду на песчаной бане с досушкой в термостате при температуре 105 °С. Взвешивая стеклянную емкость, в которой оказалась гелевая фракция по разнице определяли ее процентное содержание в 10 г почвы.

Из представленных данных можно сделать вывод (рис. 6) о том, что при увеличении количества ультразвуковых обработок посредством центрифугирования прирост выделяемого количества ОМГ монотонно снижается. Например, если на черноземе выщелоченном при первой обработке выделяется 2,06 г гелей, то при второй — уже 0,53 г (в сумме 2,6 г), а при третьей — 0,28 г, т. е. примерно 90 % гелей выделяется уже при двукратной обработке, поэтому в дальнейшем использовали два цикла выделения гелей.

С помощью разработанной методики можно отделять и количественно определять почвенные гели от неколлоидных минеральных частиц, что дает возможность оценивать массовую долю ОМГ, находящегося в почвах, по горизонтам, в зависимости от их типа, вида сельскохозяйственного использования и т. д. Количество ОМГ (% , мас. доля) по изученным горизонтам для дерново-подзолистой почвы составляет 10 %, для серой лесной — 12 % и для чернозема — 28 % (см. рис. 5).

*Проверка наличия связи между количеством выделяемых гелей и свойствами почв.* Предварительные эксперименты не подтвердили наличия связи между содержанием ОМГ и их

Т а б л и ц а 1

**Рентгено-локальный микроанализ почвенных гелей  
дерново-подзолистой и серой лесной почвы (% мас. доля)  
X-ray local microanalysis of soil gels in sod-podzolic and gray forest soils (% wt. fraction)**

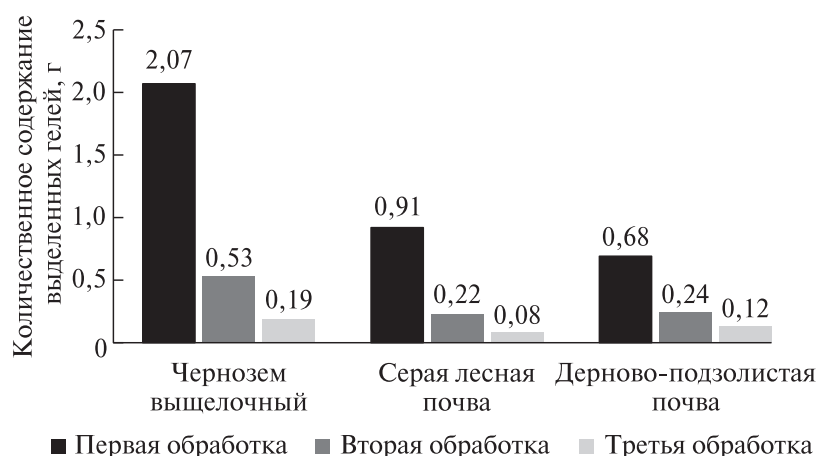
| Почва               | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO       | FeO        | C          |
|---------------------|--------------------------------|------------------|-----------|------------|------------|
| Дерново-подзолистая | 22,5 ± 0,3                     | 49,6 ± 0,4       | 2,6 ± 0,3 | 10,1 ± 2,2 | 13,8 ± 1,0 |
| Серая лесная        | 22,5 ± 4,8                     | 44,6 ± 3,6       | 2,2 ± 0,2 | 10,8 ± 0,9 | 19,8 ± 3,5 |

*Примечание.* Средние значения приведены с доверительным интервалом для 95%-й доверительной вероятности.

Т а б л и ц а 2

**Сравнительная характеристика различных воздействий на почву  
Comparative characteristics of various soil treatments**

| Почва                     | Исследуемый фактор   | Вариант опыта         | Содержание органоминеральных гелей, % |
|---------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Серая лесная почва        | Высушивание почв     | Свежеотобранная почва | 17,2 ± 0,7                            |
|                           |                      | Воздушно-сухая почва  | 16,8 ± 0,4                            |
| Дерново-подзолистая почва | Водоустойчивость     | 14,5 ± 0,92 мН/агр    | 10,7 ± 0,4                            |
|                           |                      | 20,6 ± 0,59 мН/агр    | 10,8 ± 0,4                            |
| Чернозем типичный         | Тип землепользования | Пар                   | 26,1 ± 2,7                            |
|                           |                      | Целина                | 27,9 ± 0,6                            |
| Серая лесная почва        | Размер агрегатов     | 5...7 мм              | 16,8 ± 1,4                            |
|                           |                      | ≤ 0,5 мм              | 15,2 ± 0,4                            |



**Рис. 6.** Влияние количества обработок почвы ультразвуком в аммиачной воде на прирост выделения органоминеральных гелей из почвы

**Fig. 6.** Effect of the number of ultrasound treatments in ammonia water on the increase in the release of organomineral gels from the soil

водоустойчивостью, а также между историей землепользования и размером почвенных агрегатов (табл. 2).

Водоустойчивость, которую объясняли более высоким содержанием ОМГ [33], в действитель-

ности содержит сопоставимые количества гелей (см. табл. 2). Количество выделяемого ОМГ из почв под вечным паром и целиной, а также из агрегатов разного размера также достоверно не отличается одно от другого (см. табл. 2).

Высушивание почвы не влияет на количество выделяемого ОМГ. По-видимому, основное влияние оказывает не количество ОМГ, а их состав, например, гуминовых веществ [34] или форм соединений железа [35].

Таким образом, область приложения информации о количествах ОМГ, выделяемых из почв, еще предстоит найти.

## Выводы

Предложенный метод выделения из почв органоминеральных гелей основан на ультразвуковой обработке почвенной суспензии в 0,2 н растворе гидроксида аммония с последующим выделением из суспензии минеральных частиц центрифугированием и удалением воды из суспензии фрагментов гелей.

Определение свойств надосадочной жидкости, отделенной от неколлоидных минеральных частиц, показало наличие в ней свойств гелей: низкой плотности, способности к коагуляции и твердообразности коагулирующих структур.

Рентгено-локальный микроанализ показал, что выделяемые по данной методике почвенные гели представляют собой органоминеральные образования.

Взаимосвязь между содержанием в образцах ОМГ и их водоустойчивостью не обнаружена, а также между землепользованием и размером почвенных агрегатов и содержанием ОМГ в образцах.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова (тема №121040800147-0 «Почвенные информационные системы и оптимизация использования почвенных ресурсов»).*

## Список литературы

- [1] Shein E.V., Devin B.A. Current problems in the study of colloidal transport in soil // *Eurasian Soil Science*, 2007, v. 40, pp. 399–408.
- [2] Gu S., Gruau G., Malique F., Dupas R., Petitjean P., Gascuel-Oudoux C. Drying/rewetting cycles stimulate release of colloidal-bound phosphorus in riparian soils // *Geoderma*, 2018, v. 321, pp. 32–41.
- [3] Missong A., Bol R., Willbold S., Siemens J., Klumpp E. Phosphorus forms in forest soil colloids as revealed by liquid-state  $^{31}\text{P}$ -NMR // *J. of Plant Nutrition and Soil Science*, 2016, v. 179, no. 2, pp. 159–167.
- [4] Ranville J. F., Chittleborough D. J., Beckett R. Particle-size and element distributions of soil colloids: Implications for colloid transport // *Soil Science Society of America J.*, 2005, v. 69, no. 4, pp. 1173–1184.
- [5] Yan J., Meng X., Jin Y. Size-Dependent Turbidimetric Quantification of Suspended Soil Colloids // *Vadose Zone J.*, 2017, v. 16, no. 5, pp. 1–8.
- [6] Raudina T.V., Loiko S.V., Kuzmina D.M., Shirokova L.S., Kulizhskiy S.P., Golovatskaya E.A., Pokrovsky O.S. Colloidal organic carbon and trace elements in peat porewaters across a permafrost gradient in Western Siberia // *Geoderma*, 2021, v. 390, p. 114971.
- [7] Liu F., Xu B., He Y., Brookes P.C., Tang C., Xu J. Differences in transport behavior of natural soil colloids of contrasting sizes from nanometer to micron and the environmental implications // *Science of the Total Environment*, 2018, v. 634, pp. 802–810.
- [8] Deb D., Chakma S. Colloid and colloid-facilitated contaminant transport in subsurface ecosystem — a concise review // *International J. of Environmental Science and Technology*, 2023, v. 20, no. 6, pp. 6955–6988.
- [9] Liu J., Wang J., Jiang C., Zhang T., Chen W. A screening model for predicting the potential of soil colloids-enhanced leaching of hydrophobic organic contaminants to groundwater at contaminated sites // *J. of Environmental Sciences*, 2025, v. 150, pp. 309–317.
- [10] Zhang Q., Bol R., Amelung W., Missong A., Siemens J., Mulder I., Klumpp E. Water dispersible colloids and related nutrient availability in Amazonian Terra Preta soils // *Geoderma*, 2021, v. 397, p. 115103.
- [11] Zhang W., Jiang F., Sun W. Investigating colloid-associated transport of cadmium and lead in a clayey soil under preferential flow conditions // *Water Science and Technology*, 2021, v. 84, no. 9, pp. 2486–2498.
- [12] Krause L., Klumpp E., Nofz I., Missong A., Amelung W., Siebers N. Colloidal iron and organic carbon control soil aggregate formation and stability in arable Luvisols // *Geoderma*, 2020, v. 374, p. 114421.
- [13] Yu Z., Zhang J., Zhang C., Xin X., Li H. The coupling effects of soil organic matter and particle interaction forces on soil aggregate stability // *Soil and Tillage Research*, 2017, v. 174, pp. 251–260.
- [14] Duong L.H., Nguyen M.N. Colloidal interaction of fly ash and soil clay // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2024, v. 692, p. 133944.
- [15] Philippe A., Schaumann G. E. Interactions of dissolved organic matter with natural and engineered inorganic colloids: a review // *Environmental science & technology*, 2014, v. 48, no. 16, pp. 8946–8962.
- [16] Yan Y., Zhang X., Xu C., Liu J., Hu F., Geng Z. Effect of colloidal particle size on physicochemical properties and aggregation behaviors of two alkaline soils // *Soil*, 2025, v. 11, no. 1, pp. 85–94.
- [17] Тюлин А.Ф. Органо-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 51 с.
- [18] Sullivan L.A., Koppi A.J. In-situ soil organic matter studies using scanning electron microscopy and low temperature ashing // *Geoderma*, 1987, v. 40, no. 3–4, pp. 317–332.
- [19] Федотов Г.Н., Добровольский Г.В., Путляев В.И., Гаршев А.В., Иванов В.К., Пахомов Е.И. Гелевые структуры в почвах // *Почвоведение*, 2006. № 7. С. 824–835.
- [20] Citeau L., Gaboriaud F., Elsass F., Thomas F., Lamy I. Investigation of physico-chemical features of soil colloidal suspensions // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2006, v. 287, no. 1–3, pp. 94–105.
- [21] Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский, Г.А. Голодковская, Ю.К. Васильчук,

- Р.С. Зиангиров / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1024 с.
- [22] Артемьева З.С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
- [23] Verhoef P. The methylene blue adsorption test applied to geomaterials, 1992, pp. 1–75.
- [24] Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва — растение: дис. ... д-ра биол. наук. Пушкино, 2008, 330 с.
- [25] Ультразвук. Маленькая энциклопедия / под ред. И.П. Голямина. М.: Советская энциклопедия, 1979. 400 с.
- [26] Семенов В.М., Лебедева Т.Н., Паутова Н.Б. Дисперсное органическое вещество в необрабатываемых и пахотных почвах // Почвоведение, 2019. № 4. С. 440–450.
- [27] Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1975. 512 с.
- [28] Laird D. Nature of clay – humic complexes in an agricultural soil: II. Scanning electron microscopy analysis // Soil Science Society of America J., 2001, v. 65, no. 5, pp. 1419–1425.
- [29] Negre M., Leone P., Trichet J., Défarge C., Boero V., Gennari M. Characterization of model soil colloids by cryo-scanning electron microscopy // Geoderma, 2004, v. 121, no. 1–2, pp. 1–16.
- [30] Angelico R., Colombo C., Di Iorio E., Brtnický M., Fojt J., Conte P. Humic substances: from supramolecular aggregation to fractal conformation – is there time for a new paradigm? // Applied Sciences, 2023, v. 13, no. 4, p. 2236.
- [31] Österberg R., Mortensen K. Fractal dimension of humic acids: A small angle neutron scattering study // European Biophysics J., 1992, v. 21, pp. 163–167.
- [32] Senesi N., Rizzi F. R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal humic acids in aqueous suspensions at various concentrations, ionic strengths, and pH values // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1997, v. 127, no. 1–3, pp. 57–68.
- [33] Сандухадзе Б.И., Федотов Г.Н., Давыдова Н.В., Мамедов Р.З., Ушкова Д.А., Нардид В.А., Горепекин И.В., Крахмалева М.С., Потапов Д.И., Казаченко А.О., Бугрова В.В., Грачева Т.А. Аллелотоксичность и водоустойчивость дерново-подзолистой почвы после выращивания на ней пшеницы // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни, 2022. Т. 507. С. 449–454.
- [34] Пугачев Е.В. Роль компонентов органического вещества в оптимизации физических свойств светло-серых лесных почв пахотных угодий: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Киров, 2007. 23 с.
- [35] Водяницкий Ю.Н., Макаров М.И. Изменение свойств образцов влажных почв после их извлечения из разреза // Агрохимия, 2016. № 9. С. 84–91.

## Сведения об авторах

**Горепекин Иван Владимирович**✉ — канд. биол. наук, науч. сотр. Факультета почвоведения, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», науч. сотр. Евразийского центра по продовольственной безопасности, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», decembrist96@yandex.ru

**Федотов Геннадий Николаевич** — д-р биол. наук, вед. науч. сотр. Факультета почвоведения, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», gennadiy.fedotov@gmail.com

**Бузук Георгий Николаевич** — д-р фарм. наук, профессор, УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет» (ВГМУ), buzuk@tut.by

**Салимгареева Ольга Алексеевна** — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Факультета почвоведения, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», tavtava@yandex.ru

**Батырев Юрий Павлович** — канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МТИ), batyrev@bmstu.ru

**Сухарев Алексей Игоревич** — студент, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», suharevai@my.msu.ru

Поступила в редакцию 19.09.2025.

Одобрено после рецензирования 20.12.2025.

Принята к публикации 23.04.2026.

# SOIL GELS: EXTRACTION FROM SOILS, EVALUATION OF CONTENT, COMPOSITION AND VERIFICATION OF RELATION WITH CERTAIN SOIL PROPERTIES

I.V. Gorepekin<sup>1</sup>✉, G.N. Fedotov<sup>1</sup>, G.N. Buzuk<sup>2</sup>,  
O.A. Salimgareyeva<sup>1</sup>, Yu.P. Batyrev<sup>3</sup>, A.I. Sukharev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, GSP-1, 1, build. 12, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, 27, Frunze av., 210009, Vitebsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

decembrist96@yandex.ru

A method to extract organomineral gels (OMG) from soils based on the treatment of soil suspension with 0,2 h ammonium hydroxide solution, ultrasonic dispersion and subsequent centrifugation is proposed. It was found that the isolated particles have sizes from tens to hundreds of microns, low density, are capable of coagulation and form solid-like structures, which confirms their gel nature. Using X-ray local microanalysis, the organomineral composition of the gels is shown. The quantitative content of OMG was 10 % for sod-podzolic soil, 12 % for gray forest and 28 % for leached chernozem. No relationship has been found between the content of gels and the water resistance of soils, the history of land use, or the size of soil aggregates. The developed method can be used to quantify organomineral gels in different types of soils.

**Keywords:** structure of soil colloids, ultrasonic treatment of soil suspensions, soil colloids and soil properties

**Suggested citation:** Gorepekin I.V., Fedotov G.N., Buzuk G.N., Salimgareyeva O.A., Batyrev Yu.P., Sukharev A.I. *Pochvennyye geli: vydeleniye iz pochv, opredeleniye sodержaniya, sostava i proverka vzaimosvyazi s nekotorymi svoystvami pochv* [Soil gels: extraction from soils, evaluation of content, composition and verification of relation with certain soil properties]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 4, pp. 74–84. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-4-74-84

## References

- [1] Shein E.V., Devin B.A. Current problems in the study of colloidal transport in soil. *Eurasian Soil Science*, 2007, v. 40, pp. 399–408.
- [2] Gu S., Gruau G., Malique F., Dupas R., Petitjean P., Gascuel-Oudou C. Drying/rewetting cycles stimulate release of colloidal-bound phosphorus in riparian soils. *Geoderma*, 2018, v. 321, pp. 32–41.
- [3] Missong A., Bol R., Willbold S., Siemens J., Klumpp E. Phosphorus forms in forest soil colloids as revealed by liquid-state 31P-NMR. *J. of Plant Nutrition and Soil Science*, 2016, v. 179, no. 2, pp. 159–167.
- [4] Ranville J. F., Chittleborough D. J., Beckett R. Particle-size and element distributions of soil colloids: Implications for colloid transport. *Soil Science Society of America J.*, 2005, v. 69, no. 4, pp. 1173–1184.
- [5] Yan J., Meng X., Jin Y. Size-Dependent Turbidimetric Quantification of Suspended Soil Colloids. *Vadose Zone J.*, 2017, v. 16, no. 5, pp. 1–8.
- [6] Raudina T.V., Loiko S.V., Kuzmina D.M., Shirokova L.S., Kulizhskiy S.P., Golovatskaya E.A., Pokrovsky O.S. Colloidal organic carbon and trace elements in peat porewaters across a permafrost gradient in Western Siberia. *Geoderma*, 2021, v. 390, p. 114971.
- [7] Liu F., Xu B., He Y., Brookes P.C., Tang C., Xu J. Differences in transport behavior of natural soil colloids of contrasting sizes from nanometer to micron and the environmental implications. *Science of the Total Environment*, 2018, v. 634, pp. 802–810.
- [8] Deb D., Chakma S. Colloid and colloid-facilitated contaminant transport in subsurface ecosystem — a concise review. *International J. of Environmental Science and Technology*, 2023, v. 20, no. 6, pp. 6955–6988.
- [9] Liu J., Wang J., Jiang C., Zhang T., Chen W. A screening model for predicting the potential of soil colloids-enhanced leaching of hydrophobic organic contaminants to groundwater at contaminated sites. *J. of Environmental Sciences*, 2025, v. 150, pp. 309–317.
- [10] Zhang Q., Bol R., Amelung W., Missong A., Siemens J., Mulder I., Klumpp E. Water dispersible colloids and related nutrient availability in Amazonian Terra Preta soils. *Geoderma*, 2021, v. 397, p. 115103.
- [11] Zhang W., Jiang F., Sun W. Investigating colloid-associated transport of cadmium and lead in a clayey soil under preferential flow conditions. *Water Science and Technology*, 2021, v. 84, no. 9, pp. 2486–2498.
- [12] Krause L., Klumpp E., Nofz I., Missong A., Amelung W., Siebers N. Colloidal iron and organic carbon control soil aggregate formation and stability in arable Luvisols. *Geoderma*, 2020, v. 374, p. 114421.
- [13] Yu Z., Zhang J., Zhang C., Xin X., Li H. The coupling effects of soil organic matter and particle interaction forces on soil aggregate stability. *Soil and Tillage Research*, 2017, v. 174, pp. 251–260.

- [14] Duong L.H., Nguyen M.N. Colloidal interaction of fly ash and soil clay. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2024, v. 692, p. 133944.
- [15] Philippe A., Schaumann G. E. Interactions of dissolved organic matter with natural and engineered inorganic colloids: a review. *Environmental science & technology*, 2014, v. 48, no. 16, pp. 8946–8962.
- [16] Yan Y., Zhang X., Xu C., Liu J., Hu F., Geng Z. Effect of colloidal particle size on physicochemical properties and aggregation behaviors of two alkaline soils. *Soil*, 2025, v. 11, no. 1, pp. 85–94.
- [17] Tyulin A.F. *Organno-mineral'nyye kolloidy v pochve, ikh genezis i znachenie dlya kornevoogo pitaniya vysshikh rasteniy* [Organic-mineral colloids in the soil, their genesis and significance for root nutrition of higher plants]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1958, 51 p.
- [18] Sullivan L.A., Koppi A.J. In-situ soil organic matter studies using scanning electron microscopy and low temperature ashing. *Geoderma*, 1987, v. 40, no. 3–4, pp. 317–332.
- [19] Fedotov G.N., Dobrovolskiy G.V., Putlyayev V.I., Garshev A.V., Ivanov V.K., Pakhomov Ye.I. *Gelevyye struktury v pochvakh* [Gel structures in soils]. *Pochvovedenie* [Soil Science], 2006, no. 7, pp. 824–835.
- [20] Citeau L., Gaboriaud F., Elsass F., Thomas F., Lamy I. Investigation of physico-chemical features of soil colloidal suspensions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2006, v. 287, no. 1–3, pp. 94–105.
- [21] Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesenskiy Ye.A., Golodkovskaya G.A., Vasil'chuk YU.K., Ziangirov R.S. *Gruntovedeniye* [Soil science]. Ed. V.T. Trofimova. Moscow: Moscow State University Publ., 2005, 1024 p.
- [22] Artem'yeva Z.S. *Organicheskoye veshchestvo i granulometricheskaya sistema pochvy* [Organic matter and granulometric system of soil]. Moscow: GEOS, 2010, 240 p.
- [23] Verhoef P. The methylene blue adsorption test applied to geomaterials, 1992, pp. 1–75.
- [24] Matychenkov V.V. *Rol' podvizhnykh soedineniy kremniya v rasteniyakh i sisteme pochva — rasteniye* [The role of mobile silicon compounds in plants and the soil — plant system]. Diss. Dr. Sci. (Biolog.). Pushchino, 2008, 330 p.
- [25] *Ul'trazvuk. Malen'kaya entsiklopediya* [Ultrasound. A Little Encyclopedia]. Ed. I.P. Golyamin. Moscow: Soviet Encyclopedia, 1979, 400 p.
- [26] Semenov V.M., Lebedeva T.N., Pautova N.B. *Dispersnoye organicheskoye veshchestvo v neobrabatyvayemykh i pakhotnykh pochvakh* [Dispersed organic matter in uncultivated and arable soils]. *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2019, no. 4, pp. 440–450.
- [27] Voyutskiy S.S. *Kurs kolloidnoy khimii* [Course of Colloid Chemistry]. Moscow: Chemistry, 1975, 512 p.
- [28] Laird D. Nature of clay – humic complexes in an agricultural soil: II. Scanning electron microscopy analysis. *Soil Science Society of America J.*, 2001, v. 65, no. 5, pp. 1419–1425.
- [29] Negre M., Leone P., Trichet J., Défarge C., Boero V., Gennari M. Characterization of model soil colloids by cryo-scanning electron microscopy. *Geoderma*, 2004, v. 121, no. 1–2, pp. 1–16.
- [30] Angelico R., Colombo C., Di Iorio E., Brtnický M., Fojt J., Conte P. Humic substances: from supramolecular aggregation to fractal conformation – is there time for a new paradigm? *Applied Sciences*, 2023, v. 13, no. 4, p. 2236.
- [31] Österberg R., Mortensen K. Fractal dimension of humic acids: A small angle neutron scattering study. *European Biophysics J.*, 1992, v. 21, pp. 163–167.
- [32] Senesi N., Rizzi F. R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal humic acids in aqueous suspensions at various concentrations, ionic strengths, and pH values. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1997, v. 127, no. 1–3, pp. 57–68.
- [33] Sandukhadze B.I., Fedotov G.N., Davydova N.V., Mamedov R.Z., Ushkova D.A., Nardid V.A., Gorepekin I.V., Krakhmaleva M.S., Potapov D.I., Kazachenko A.O., Bugrova V.V., Gracheva T.A. *Allelotoksichnost' i vodoustoychivost' durnovo-podzolistoy pochvy posle vyrashchivaniya na ney pshenitsy* [Allelotoxicity and water stability of sod-podzolic soil after growing wheat on it]. *Doklady Rossiyskoy akademii nauk. Nauki o zhizni* [Reports of the Russian Academy of Sciences. Life Sciences], 2022, v. 507, pp. 449–454.
- [34] Pugachev Ye.V. *Rol' komponentov organicheskogo veshchestva v optimizatsii fizicheskikh svoystv svetlo-serykh lesnykh pochv pakhotnykh ugodiy* [The role of organic matter components in optimizing the physical properties of light gray forest soils of arable land]. Abstract Dis. Cand. Sci. (Agric.). Kirov, 2007, 23 p.
- [35] Vodyanitskiy YU.N., Makarov M.I. *Izmeneniye svoystv obraztsov vlazhnykh pochv posle ikh izvlecheniya iz razreza* [Changes in the properties of wet soil samples after their extraction from the section]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], 2016, no. 9, pp. 84–91.

*This study was conducted as part of a state assignment from Lomonosov Moscow State University (topic no. 121040800147-0 «Soil Information Systems and Optimization of Soil Resource Use»).*

## Authors' information

**Gorepekin Ivan Vladimirovich**✉ — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Eurasian Center for Food Security of Lomonosov Moscow State University, Researcher of the Faculty of Soil Science of Lomonosov Moscow State University, [decembrist96@yandex.ru](mailto:decembrist96@yandex.ru)

**Fedotov Gennadiy Nikolaevich** — Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Faculty of Soil Science of Lomonosov Moscow State University, [gennadiy.fedotov@gmail.com](mailto:gennadiy.fedotov@gmail.com)

**Buzuk Georgiy Nikolayevich** — Dr. Sci. (Pharmacy), Professor of the Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, [buzuk@tut.by](mailto:buzuk@tut.by)

**Salimgareyeva Ol'ga Alekseyevna** — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Faculty of Soil Science of Lomonosov Moscow State University, [tavtava@yandex.ru](mailto:tavtava@yandex.ru)

**Batyrev Yuriy Pavlovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), [batyrev@bmstu.ru](mailto:batyrev@bmstu.ru)

**Sukharev Aleksey Igorevich** — student of the Lomonosov Moscow State University, [suharevai@my.msu.ru](mailto:suharevai@my.msu.ru)

Received 19.09.2025.

Approved after review 20.12.2025.

Accepted for publication 23.04.2026.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest