

vookhraneni. Register of medicines of the Republic of Belarus [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.rceth.by/refbank/>. Data dostupa: 28.07.2021. (In Russ.)

3. Ministerstvo zdravookhraneniia Respubliki Belarus', Tsentr ekspertiz i ispytani v zdravookhraneni. State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus: v 2 t. T. 2. Quality control of substances for pharmaceutical use and medicinal herbal raw materials. Marchenko SI, redactor. Molodechno, RB: Pobeda; 2016. 1368 s. (In Russ.)

4. Deineka VI, Gostishchev IA, Tret'akov MIu, Indina IV. Carotenoids of calendula flower petals. Nauch Vedomosti Belgorodskogo Gos Unta. Ser Estestvennye nauki. 2011;(9):279–87. (In Russ.)

5. Tarakhovskii IuS, Kim IuA, Abdrasimov BS, Muzafarov EN. Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine. Pushchino, RF: Sunchrobook; 2013. 310 s. (In Russ.)

6. Chueshov VI, Gladukh EV, Saiko IV, Liapunova OA, Sichkar' AA, Krutskikh TV i dr. Industrial drug technology: ucheb dlia studentov vyss ucheb zavedenii : v 2 ch : per s ukr. Vinnitsa, Ukraina: Nova Kniga; 2014. Chast' 2. 593 s. (In Russ.)

7. Ladygina EIa, Safronich LN, Otriashchenkova VE, Balandina IA, Grinkevich NI, Sorokina AA i dr. Chemical analysis of medicinal plants: ucheb posobie. Grinkevich NI, Safronich LN, redaktory. Moskva, RF: Vyssh shkola; 1983. 176 s. (In Russ.)

8. Biriulin SI, Posokina NE, Trishkanova MV. Isolation of carbohydrates from plant materials and their identification using capillary electrophoresis. Ovoshchi Rossii. 2019;(5):84–7. doi: 10.18619/2072-9146-2019-5-84-87. (In Russ.)

9. Zilfikarov IN, Chelombit'ko VA, Aliev AM. Treatment of medicinal plant materials with liquefied gases and supercritical fluids. Chelombit'ko VA, redactor. Piatigorsk RF; 2007. 244 s. (In Russ.)

10. Lukashov RI, Gurina NS. Preliminary degreasing of Canadian goldenrod herb [Elektronnyi resurs]. V: Shchastnyi AT, redaktor. Sovremennye dostizheniia farmatsevticheskoi nauki i praktiki [CD-ROM]. Materialy Mezhdunar konf, posviashch 60-letiiu farmatsevt fak uchrezhdeniia obrazovaniia «Vitebskii gos ordena Druzhby narodov med un-t»; 2019 Okt 31; Vitebsk, Belarus'. Vitebsk, RB: VGMU; 2019. s. 111–4. (In Russ.)

11. Cetkovic GS, Djilas M, Canadanovic-Brunet MJ, Tumbas TV. Thin-layer chromatography analysis and scavenging activity of marigold (*Calendula officinalis* L.) extracts. APTEFF. 2003;34:93–102. doi: 10.2298/APT0334093C

12. Lukashov RI. Influence of the nature and concentration of organic extractants on the extraction of flavonoids from calendula flowers. Vestn Vitebskogo Gos Med Un-ta. 2018;17(5):109–23. doi: 10.22263/2312-4156.2018.5.109. (In Russ.)

13. Ravdel' AA, Ponomareva AM, redaktory. Brief reference book of physical and chemical quantities. Sankt-Peterburg, RF: Ivan Fedorov; 2003. 240 s. (In Russ.)

14. Ostad SN, Monsef-Esfahani HR, Taheri S, Azizi E, Faramarzi MA. Effects of Flavonoid Fractions from *Calendula officinalis* Flowers in Parent and Tamoxifen Resistant T47D Human Breast Cancer Cells. Iranian J of Pharmaceutical Sciences. 2005;1(3):161–6

Адрес для корреспонденции:

220116, Республика Беларусь,
г. Минск, пр-т Дзержинского, 83,
УО «Белорусский государственный
медицинский университет»,
кафедра фармацевтической химии,
тел.: 8 (017) 2794218,
e-mail: r_lukashov@mail.ru,
Лукашов Р.И.

Поступила 28.12.2021 г.

УДК 632.425

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2022.1.56>

Г. Н. Бузук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРОФНОСТИ ПОЧВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. СООБЩЕНИЕ 4. ПОЧВЕННАЯ МАТРИЦА

г. Витебск, Республика Беларусь

Целью настоящей работы была разработка способа определения удельного электрического сопротивления (УЭС) почвенной матрицы. Поставленная цель достигается тем, что одновременно с измерением УЭС в полевых условиях с помощью емкостного датчика проводят определение объемной влажности почвы. Малоинвазивным способом с помощью предложенного устройства и спирального бура отбирают образцы для опре-

деления плотности и пористости почвы, а также содержания в ней суммы минералов глины. Для определения суммарного содержания минералов глины предложен цветометрический метод, основанный на взаимодействии катионных красителей, в частности, метиленового синего, с минералами глины. Глинистость почвы рассчитывается как отношение окрашенного объема глины к общему объему почвы и выражается в относительных единицах или процентах. На основе анализа литературных и собственных данных предложено уравнение для оценки вклада матрицы почвы в общее УЭС почвы на фоне ее различной объемной влажности, пористости и глинистости.

Ключевые слова: геофизические методы, электрофизика почв, почвенная матрица, установка Wenner, метиленовый синий, глина.

ВВЕДЕНИЕ

Влажность почвы и ее трофность имеют существенное значение для накопления в лекарственном растительном сырье вторичных метаболитов.

Ранее нами при разработке способа корректировки влияния влажности почвы на определение удельного электрического сопротивления (УЭС) было предложено уравнение, позволяющее рассчитать УЭС почвенного раствора на основании измерений УЭС и объемной влажности почвы, определяемой с помощью емкостного датчика [1]. Однако, помимо почвенного раствора, на электропроводность почвы оказывает влияние и твердая фаза почвы – почвенная матрица, которая обладает поверхностной и матричной проводимостью. Последняя в основном обусловлена присутствием в почве и горных породах глинистых минералов [2–4].

Таким образом, наблюдаемая электропроводность, или УЭС, является результатом по крайней мере двух явлений – электропроводности почвенного раствора и почвенной матрицы соответственно.

Целью настоящей работы явилась разработка способа определения удельного электрического сопротивления почвенной матрицы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для полевых опытов применяли усовершенствованную AMNB установку F. Wenner и устройство, описанное в предыдущих работах [1, 5, 6] и включающее, помимо линейной линии электродов, емкостной датчик для определения объемной влажности почвы.

Для малоинвазивного отбора почвенных проб использовали предложенное нами ранее [7], усовершенствованное устройство на основе спирального бура,

представляющее собой трубку с внутренним диаметром 21 или 31 мм, с внешней резьбой, нижним режущим краем и верхним, имеющим выемки для ключа (рисунок 1). Приемник почвы крепится на трубке с помощью двух гаек. Отбор образца почвы происходит следующим образом. После снятия подстилки с поверхности почвы собранное устройство с помощью специального ключа ввинчивается в почву до уровня приемника почвы. Затем в трубку вставляется сверло Левиса диаметром 20 или 30 мм и высверливается колонка почвы на избранную глубину. Почва из приемника собирается в пластиковый пакет, который сразу же взвешивается на электронных весах для расчета в последующем полевой влажности почвы.

Объем колонки высверленной почвы (V) определяется по формуле (1):

$$V = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot h, \quad (1)$$

где d = диаметр сверла (скважины) – 20 или 30 мм;

h – глубина скважины (высота колонки высверленной почвы).

На основании объема колонки высверленной почвы и массы сухой почвы рассчитывается такая фундаментальная величина, как плотность почвы, и ее производные (объемная и весовая влажность, пористость, степень насыщения почвы водой и др.) [8].

Полевые испытания показали, что лучшим временем для измерения электропроводности почв являются весна и начало лета, когда почва характеризуется высокой влажностью. Электроды легко проникают в почву, не требуется высокая чувствительность измеряемого устройства из-за высокого сопротивления, обеспечивается хороший контакт электродов с почвой.



Рисунок 1. – Усовершенствованное устройство для малоинвазивного отбора проб почвы

Для отбора проб почвы с помощью спирального бура наиболее подходящим является период минимальной влажности почвы – конец лета – начало осени. В такой период при заборе почвы отсутствует залипание.

Для количественной оценки глинистости почвы нами впервые был предложен

метод окрашивания глинистых минералов 0,02% водным раствором метиленового синего, который образует с ними нерастворимый в воде осадок сине-фиолетового цвета [9–10]. Данный метод до настоящего времени использовался исключительно для определения качественного минерального состава глин (таблица 1).

Таблица 1. – Окрашка глинистых минералов 0,01% водным раствором метиленового синего [9]

Глинистые минералы	Окрашка 0,01% водным раствором метиленового синего
Каолинит	Фиолетовый
Накрит	Сине-фиолетовый
Диккит	Сине-фиолетовый
Галлуазит	Фиолетовый
Гидрослюда	Фиолетово-синий
Монтмориллонит	Фиолетово-синий
Нонтронит	Фиолетово-синий
Глауконит	Фиолетово-синий
Пальгорскит	Фиолетово-синий
Сепиолит	Сине-голубой
Хлорит	Синий
Карбонаты пелитоморфные	Сиреневый

Определение проводили следующим образом. В пластиковые пробирки с делениями емкостью 10 мл и внутренним диаметром 14 мм помещали 3 мл почвы, измельченной и просеянной через сито

0,5 мм, уплотняли постукиванием по стенке пробирки и взвешивали на электронных весах. По разности пробирки с почвой и пустой пробирки находили массу почвы. Затем в пробирку добавляли водопро-

водную воду (TDS = 390–410, солемер ХМТДС01УМ Xiaomi) до 9 мл, сильно перемешивали в течение 1–2 мин, оставляли для набухания в течение 1 часа. Затем частично расслоившуюся суспензию почвы снова перемешивали, добавляли 1 мл 0,02% водного раствора метиленового синего, опять перемешивали и оставляли отстаиваться в течение ночи в темноте (для предотвращения выцветания красителя).

Вместо пластиковых пробирок вместимостью 10 мл могут быть использованы стеклянные пипетки такого же объема (на выливание), герметизированные с помощью смолы. Количество прибавляемого водного раствора мети-

ленового синего может быть уменьшено до 0,5 мл при малом содержании глины в почве или увеличено до 1,5–2 мл – при большом (более 50%).

После отстаивания в течение суток наблюдалось четкое разделение фракций песка и окрашенной в различные оттенки синего цвета глины (рисунок 2). Замеряли толщину окрашенного слоя глины, объем (V_g) которого рассчитывали по формуле (2):

$$V_g = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot h, \quad (2)$$

где d – внутренний диаметр пробирки, мм;

h – толщина окрашенного слоя глины.

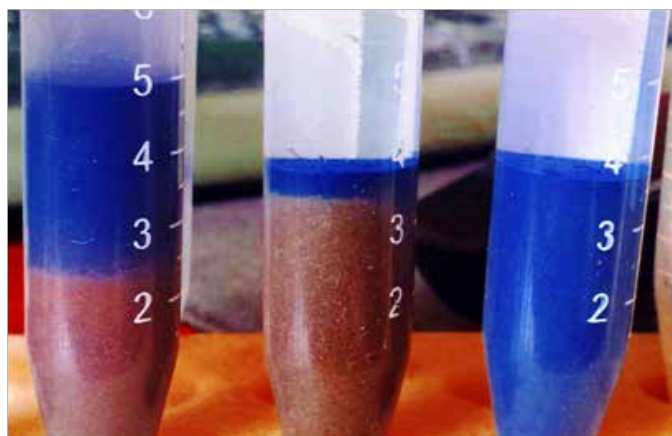


Рисунок 2. – Результаты окраски водным раствором метиленового синего моренной глины (слева), легкого суглинка (в центре) и пелитоморфного карбоната (разновидность микрозернистого кальцита)

Также фиксировали общий объем набухшей почвы (V).

Глинистость почвы (в долях единицы – 0–1) рассчитывали как отношение объема глины (V_g) к общему объему набухшей почвы (V):

$$g = V_g/V \quad (3)$$

В дальнейшем содержание глины в почве может быть рассчитано как произведение глинистости (g) на массу навески почвы и представлено как в г, так и %.

Замена жесткой водопроводной воды водой очищенной ведет к образованию стойкой окрашенной суспензии, которая не осаждается в течение нескольких суток. В некоторых вариантах даже наблюдается частичное формирование окрашенного геля. При необходимости водопроводная вода может быть заменена раствором хло-

рида кальция с TDS = 390–410.

Используя иные катионные красители, можно получить другие, более контрастные оттенки цветов фракции песка и глины. В случае же преобладания в составе глины определенных минералов по окраске можно предположить их наличие в составе глины. Особенно это касается наиболее ценного компонента – монтмориллонита. С этой целью пригоден показатель гистограммы цвета hue , который может быть определен с помощью программы анализа изображений Fiji и инструмента Dstretch (рисунок 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно современным представлениям [11], общая электропроводность насыщенной пористой среды, содержащей две фазы (твердую и жидкую) с проводимо-

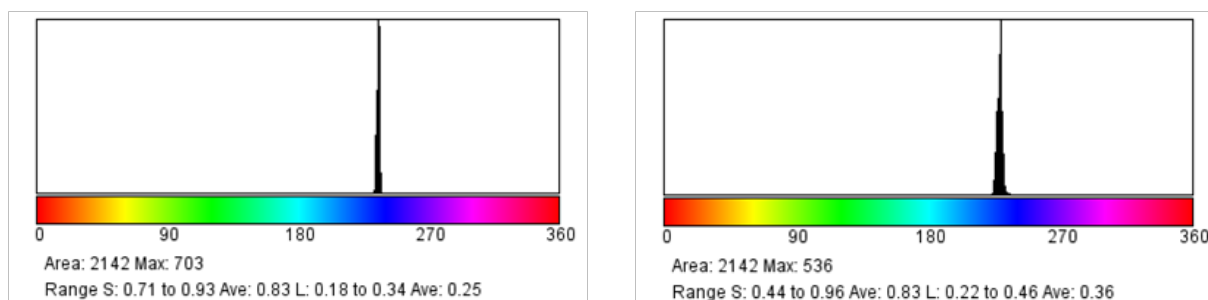


Рисунок 3. – Гистограммы цвета (hue) моренной глины (слева) и пелитоморфного карбоната (справа)

стью σ_1 и σ_2 соответственно и объемами K_1 и K_2 (где $K_1 + K_2 = 1$), может быть представлена как:

$$\sigma = \sigma_1 \cdot K_1^p + \sigma_2 \cdot K_1^m, \quad (4)$$

где σ – общая электропроводность,
 σ_1 и σ_2 – электропроводность жидкой и твердой фазы соответственно,
 p и m – экспоненты, отражающие связность фаз.

На основании уравнения (4) Н. Choo [12] было предложено обобщенное уравнение:

$$\sigma = \sigma_w \cdot \varphi^p + \lambda \cdot (1-\varphi)^m, \quad (5)$$

где λ – матричная (поверхностная) проводимость;
 φ – пористость (объем жидкой фазы);
 $1 - \varphi$ – объем фракции твердых частиц;
 σ_w – проводимость почвенного раствора.

С учетом обратной зависимости электрического сопротивления от проводимости ($\sigma = 1 / R_x$) нами ранее было предложено уравнение для расчета удельного электрического сопротивления почвенного раствора (R_w), которое хорошо согласовывалось с экспериментальными данными, полученными нами и другими авторами [1]:

$$R_w = R_x \cdot \theta^b / \varphi^b, \quad (6)$$

где R_x – измеренное электрическое сопротивление ($\Omega \cdot m$) при объемной влажности (θ) и пористости (φ) почвы в пределах 0–1;

b – коэффициент (степень функции) в пределах 1,5–2,3 (по умолчанию равно 2).

По аналогии с уравнением (6) соответствующее уравнение для удельного электрического сопротивления почвенной матрицы (R_m) может быть представлено в следующем виде:

$$R_m = R_x \cdot \theta^b / (1-\varphi)^b \quad (7)$$

Вместе с тем не все, а только часть частиц твердой фазы обладает поверхностной и/или матричной проводимостью. В первую очередь это относится к минералам, несущим заряды, в особенности к минералам глин. В связи с этим в уравнение (7) вводится коэффициент глинистости (g), равный доле глины в составе твердой фазы породы или почвы:

$$R_g = R_x \cdot \theta^b / ((1-\varphi) \cdot g)^b, \quad (8)$$

где R_x – измеренное электрическое сопротивление ($\Omega \cdot m$) при объемной влажности (θ) и пористости (φ) почвы в пределах 0–1;

b – коэффициент (степень функции) в пределах 1,5–2,3 (по умолчанию равно 2);
 g – глинистость почвы в пределах 0–1.

Предложенные уравнения содержат показатели, такие как пористость и глинистость, для определения которых требуется отбор почвенных проб. Данный факт существенно снижает основные достоинства электрофизического метода – экспрессность и неинвазивность. Вместе с тем на практике в ограниченной степени возможно использование средних значений пористости, которая может изменяться в пределах 0,30–0,60, в том числе для песчаных почв – 0,30–0,35, супесей – 0,35–0,45, суглинков – 0,40–0,47, лёссов и лёссовидных суглинков – 0,40–0,55, глин – 0,45–0,55, пахотного горизонта почвы – 0,55–0,60 [13].

Глинистость почвы может быть заменена индексом глинистости, основанным на каком-либо полевом методе, например, методе раскатывания [14].

Плюсом является то, что определяемые показатели почвы (пористость и глинистость) являются достаточно стабильными во времени и после однократного определения могут использоваться для оценки динамики влажности почвы и концентрации в ней почвенного раствора.

Предложенный метод цветометрического определения глинистости почвы требует дальнейшего изучения и соотнесения получаемых результатов с аналогичными, получаемыми другими способами, например, седиментационным [14]. Его достоинством является наглядность и малая трудоемкость, особенно заметная при проведении многочисленных серийных анализов.

Применение метода будет эффективным при проведении научных исследований по оценке влияния влажности и трофности почвы на накопление и содержание действующих веществ в лекарственных растениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены уравнения для оценки вклада УЭС твердой фазы (матрицы почвы) на фоне ее различной объемной влажности, пористости и глинистости. Для измерения УЭС применяют линейную установку F. Wenner, объемной влажности – емкостной датчик. Для определения пористости и глинистости почвы применяют малоинвазивный отбор проб почвы. Определение глинистости производят цветометрическим методом с помощью катионных красителей, в частности, метиленового синего. Разработанный способ определения удельного электрического сопротивления почвенной матрицы имеет важное значение для проведения исследований по оценке трофности почв и накопления биологически активных веществ в лекарственных растениях.

SUMMARY

G. N. Buzuk

DETERMINATION OF SOIL TROPICITY BY ELECTROPHYSICAL METHOD. MESSAGE 4. SOIL MATRIX

The aim of this work was to develop a

method for determining the specific electrical resistance (SER) of the soil matrix. The goal is achieved by the fact that simultaneously with the measurement of the SER in the field bulk moisture of the soil is determined using a capacitive sensor. Samples are taken to determine the density and porosity of the soil, as well as the content of clay minerals in it with a minimally invasive way using the proposed device and a spiral drill. To determine total content of clay minerals, a colorimetric method based on the interaction of cationic dyes, in particular methylene blue, with clay minerals is proposed. Soil clayiness is calculated as the ratio of the colored volume of clay to the total volume of the soil and is expressed in relative units or percentage. Based on the analysis of literature and our own data, an equation is proposed for assessing the contribution of the soil matrix to total SER of the soil against the background of its different volumetric moisture, porosity and clay.

Keywords: geophysical methods, soil electrophysics, soil matrix, Wenner installation, methylene blue, clay.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузук, Г. Н. Определение трофности почв электрофизическим методом. Сообщение 3. Корректировка влияния влажности / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2021. – № 4. – С. 74–84.
2. Revil, A. Nature of surface electrical conductivity in natural sands, sandstones, and clays / A. Revil, P. W. J. Glover // Geophysical research letters. – 1998. – Vol. 25, N 5. – P. 691–694.
3. Revil, A. Theory of ionic-surface electrical conduction in porous media / A. Revil, P. W. J. Glover // Phys. rev. B. – 1997. – Vol. 55, N 3. – P. 1757–1773.
4. Glover, P. Geophysical properties of the near surface Earth: Electrical properties / P. Glover // Treatise on Geophysics / chief ed. G. Schubert. – 2nd ed. – Amsterdam: Elsevier, 2015. – Vol. 11. – P. 89–137.
5. Бузук, Г. Н. Определение трофности почв электрофизическим методом. Сообщение 1. Устройство и лабораторная методика / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2021. – № 3. – С. 32–40.
6. Бузук, Г. Н. Определение трофности почв электрофизическим методом. Сообщение 2. Конструкция электродов и способ расчета геометрического коэффициента / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2021. – № 4. – С. 46–52.
7. Бузук, Г. Н. Спиральный бур для взятия образцов почвы / Г. Н. Бузук // Вестн. фарма-

ции. – 2018. – № 3. – С. 33–35.

8. Шеин, Е. В. Агрофизика / Е. В. Шеин, В. М. Гончаров. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 400 с.

9. Логвиненко, Н. В. Петрография осадочных пород (с основами методики исследования) / Н. В. Логвиненко. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: Высш. шк., 1984. – 416 с.

10. Веденеева, Н. Е. Метод исследования глинистых минералов с помощью красителей: (спектрофотометрический анализ) / Н. Е. Веденеева, М. Ф. Викулова. – Львов: Изд-во Львовского гос. ун-та, 1956. – 95 с.

11. Glover, P. W. J. A modified Archie's law for two conducting phases / P. W. J. Glover, M. J. Hole, J. Pous // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2000. – Vol. 180, N 3–4. – С. 369–383.

12. Estimating the electrical conductivity of clayey soils with varying mineralogy using the index properties of soils / H. Choo [et al.] // *Appl. Clay Science*. – 2022. – Vol. 217. – P. 1–9.

13. Ковда, В. А. Основы учения о почвах. Кн. 1 / В. А. Ковда. – Москва: Наука, 1973. – 324 с.

14. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

REFERENCES

1. Buzuk GN. Determination of soil trophicity by electrophysical method. Message 3. Humidity correction. *Vestn farmatsii*. 2021;(4):74–84. doi: 10.52540/2074-9457.2021.4.74. (In Russ.)

2. Revil A, Glover PWJ. Nature of surface electrical conductivity in natural sands, sandstones, and clays. *Geophys res lett*. 1998;25(5):691-4. doi: 10.1029/98GL00296

3. Revil A, Glover PWJ. Theory of ionic-surface electrical conduction in porous media. *Phys Rev B*. 1997;55(3):1757–73

4. Glover P. Geophysical properties of the near surface Earth: Electrical properties. In: Schubert G, chief editor. *Treatise on Geophysics*. 2nd ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier; 2015. vol 11. p. 89–137

5. Buzuk GN. Determination of soil tro-

phicity by electrophysical method. Message 1. Device and laboratory technique. *Vestn farmatsii*. 2021;(3):32–40. doi: 10.52540/2074-9457.2021.3.32. (In Russ.)

6. Buzuk GN. Determination of soil trophicity by electrophysical method. Message 2. The design of the electrodes and the method of calculating the geometric coefficient. *Vestn farmatsii*. 2021;(4):46-52. doi: 10.52540/2074-9457.2021.4.46. (In Russ.)

7. Buzuk GN. Spiral drill for taking soil samples. *Vestn farmatsii*. 2018;(3):33–5. (In Russ.)

8. Shein EV, Goncharov VM. *Agrophysics*. Rostov-na-Donu, RF: Feniks; 2006. 400 s. (In Russ.)

9. Logvinenko NV. *Petrography of sedimentary rocks (with the basics of research methods)*. Izd 3-e, pererab i dop. Moskva, RF: Vyssh shk; 1984. 416 s. (In Russ.)

10. Vedeneeva NE, Vikulova MF. Method for the study of clay minerals using dyes: (spectrophotometric analysis). L'vov, Ukraina: Izd-vo L'vovskogo gos un-ta; 1956. 95 s. (In Russ.)

11. Glover PWJ, Hole MJ, Pous J. A modified Archie's law for two conducting phases. *Earth Planet Sci Lett*. 2000;180(3-4):369–83. doi: 10.1016/S0012-821X(00)00168-0

12. Choo H, Park J, Do TT, Lee C. Estimating the electrical conductivity of clayey soils with varying mineralogy using the index properties of soils. *Appl Clay Sci*. 2022;217:1–9. doi: 10.1016/j.clay.2021.106388

13. Kovda VA. *Fundamentals of the doctrine of soils*. Kniga 1. Moskva, RF: Nauka; 1973. 324 s. (In Russ.)

14. Vadiunina AF, Korchagina ZA. *Methods for studying the physical properties of soils*. Izd 3-e, pererab i dop. Moskva, RF: Agropromizdat; 1986. 416 s. (In Russ.)

Адрес для корреспонденции:

г. Витебск, Республика Беларусь,
тел. +375-29-715-08-38,
e-mail: buzukg@mail.ru,
профессор, доктор фармацевтических наук,
Бузук Г.Н.

Поступила 14.03.2022 г.