ФАРМАКОГНОЗИЯ И БОТАНИКА

УДК 631.42:631.41 DOI: https://doi.org/10.52540/2074-9457.2026.2.15

Г. Н. Бузук

ФАЗОВО-ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ И РЕАЛЬНОЙ ТРОФНОСТИ ПОЧВ

г. Витебск, Республика Беларусь

Предложена методика комплексной оценки трофического состояния почв, основанная на фазовом анализе системы «твердая фаза – почвенный раствор – ионная подвижность». Метод сочетает полевой отбор кернов с лабораторным определением плотности сложения, удельного объема набухания и электропроводности. Введен интегральный трофический индекс (ITI), позволяющий количественно разделить потенциальную и реальную трофность почв без применения трудоемких гранулометрических и химических анализов. Установлено, что параметры набухания почвенной матрицы отражают мощность органо-минеральных «чехлов» (потенциальная трофность), в то время как электропроводность характеризует степень мобилизации ионов при увлажнении (реальная трофность). Выявлен эффект «структурного запирания» ресурсов, при котором высокая плотность сложения ограничивает реализацию трофического потенциала. Метод применим для экспресс-диагностики почв различного генезиса, мониторинга деградационных процессов и оценки агроэкологического состояния земель.

Ключевые слова: трофность почв, набухаемость, удельный объем, электропроводность, органо-минеральный гель, интегральный трофический индекс (ITI).

ВВЕДЕНИЕ

Трофность почв традиционно рассматривается как совокупность запасов и доступности элементов минерального питания. В классическом почвоведении она связана преимущественно с химическими показателями: запасами гумуса, глинистых минералов, емкостью катионного обмена (ЕКО) и содержанием доступных форм элементов минерального питания. Однако наличие элементов в почве не эквивалентно их реальной доступности, которая во многом определяется состоянием почвенной влаги и ее структуры (текстуры).

Фундаментальные работы А. А. Роде заложили представление о почве как о многофазной системе, в которой водная фаза играет ключевую роль в реализации ее свойств [1]. Современные исследования все чаще используют электропроводность (ЕС) как интегральный показатель ионной активности почвенного раствора [2, 3]. Однако значения ЕС сильно зависят от влажности и структуры [4, 5]. С другой стороны, способность почвенной матрицы к набуханию отражает ее активную поверхность и потенциальную емкость по отношению к питательным элементам [6, 7].

Цель работы – разработать методику функциональной оценки трофности почв, основанную на совместном анализе набухаемости и электропроводности водной фазы, и предложить интегральный показатель для разделения потенциальной и реальной трофности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор образцов и полевые измерения

В исследовании использовались образцы почв (суглинистые, песчаные, пирогенные) из окрестностей г. Витебска (Республика Беларусь). Отбор осуществлялся в период минимальной почвенной влажности (конец лета – начало осени) для минимизации вариабельности показателей [8].

Для взятия образца почвы использовалось устройство на базе сверла Левиса диаметром 20–30 мм (рисунок 1) [8]. Данный метод минимизирует вертикальное давление и деформацию стенок, обеспечивая высокую воспроизводимость объема [9, 10].

Отобранный образец почвы помещали



Рисунок 1. – Устройство для отбора проб почвы

в бумажный пакет и взвешивали в полевых условиях на электронных весах. Масса влажной почвы и почвы после высушивания использовалась для расчета полевой весовой влажности.

Объем керна (V) рассчитывался по формуле цилиндра:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h\,, \qquad (1)$$

где d – диаметр сверла;
h – глубина скважины [11, 12].

На основании массы сухой почвы (m_d) и ее объема (V) определяли плотность сложения (ρ_b) и удельный объем в полевых условиях [13–16].

Плотность сложения почвы (ρ_b):

$$\rho_b = \frac{m_d}{V}, \qquad (2)$$

где m_d – масса сухой почвы, г;
V – объем почвы, см^3.

Удельный объем в полевых условиях (v_{field}):

$$v_{field} = \frac{1}{\rho_b}. \qquad (3)$$

Полевая весовая влажность:

$$\theta_{field} = \frac{m_w - m_d}{m_d}, \qquad (4)$$

где m_w – масса влажной почвы, г;
m_d – масса сухой почвы, г.

Лабораторный анализ

Навеску почвы (2,0 г) помещали в 8 мл дистиллированной воды. После экспозиции в течение (1–2 ч) с периодическим перемешиванием для завершения гидратации и набухания суспензию после интенсивного встряхивания центрифугировали при 1000 g в течение 15 мин на центрифуге 800D.

Такое ускорение удаляет гравитационную воду, оставляя капиллярно-связанную и адсорбированную влагу [17–19]. После удаления фугата с помощью отсасывания шприцем с тонкой иглой со стенок пробирок с влажным осадком удаляли капельки воды (при их наличии) с помощью полоски фильтровальной бумаги, а затем пробирки с осадком взвешивали.

Электропроводность фугата (EC) измеряли LCR-метром FNIRSI LC1020E (частота 10 кГц, напряжение 0,6 В) с учетом температурной поправки и геометрического коэффициента ячейки [20, 21].

Удельный объем набухшей почвы (v_{lab}) рассчитывали по формуле:

$$v_{lab} = \frac{1}{\rho_s} + \frac{m_{wet} - m_{soil}}{m_{soil} \cdot \rho_{sol}}, \qquad (5)$$

где m_{wet} – масса влажного осадка;
m_{soil} – масса сухой почвы, г;
ρ_s – плотность твердой фазы (2,65 г/см^3);
ρ_{sol} – плотность раствора (дистиллированная вода = 1,00 г/см^3).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование сверла Левиса вместо традиционного режущего кольца обосновано нестабильностью данных в услови-

ях изменяющейся влажности [22–26]. Бурение в период минимальной влажности фиксирует точку максимальной усадки почвенной матрицы, что служит стабильной точкой отсчета.

В отличие от классических коэффициентов набухания, часто дающих неопределенные результаты из-за выбора «сухой» точки [27–30], используемый параметр v_{lab} (удельный объем набухшей почвы) опирается на центрифужный эквивалент влажности Бриггса–Маклейна [31] и седиментационный объем Гюбнера [32]. Современные исследования подтверждают точность этого подхода для моделирования матричного потенциала [33–37].

Индексы трофности и состояния геля

Индекс гелеобразного состояния. Это количество воды, удерживаемое органо-минеральным гелем после удаления свободной воды:

$$G = \frac{m_{wet} - m_{dry}}{m_{dry}}, \qquad (6)$$

При значениях G < 0,3 формируется слабый гель, характерный для песков и почв с низким содержанием глинистых частиц; в интервале 0,3–0,8 наблюдается умеренно развитый гель, типичный для суглинков; при 0,8–1,5 формируется развитый гель; значения G > 1,5 соответствуют сильному коллоидному гелю, характерному для смектитовых систем. Усиление гелеобразных свойств тесно связано с ростом ЕКО и содержанием органического вещества [38–41].

Этот индекс отражает толщину гидратных оболочек, емкость двойного электрического слоя, степень дисперсности, способность удерживать воду против внешнего поля (центрифуги).

Индекс набухания (SI):

$$SI = \frac{v_{lab}}{v_{field}}. \qquad (7)$$

Характеризует емкость матрицы по аккумуляции связанной воды. Показатель отражает соотношение между фактической структурной организацией почвы и ее предельным гидратационным состоянием, обусловленным свойствами органо-минерального геля. В отличие от традиционных показателей структуры, коэффициент (*SI*) учитывает не только текущее состояние почвы, но и ее потенциальную склонность к набуханию и дисперсии.

Интегральный трофический индекс (ITI):

$$ITI = \frac{SI \cdot EC}{\rho_b}. \qquad (8)$$

ITI объединяет гидрофизические и ионные аспекты, описывая способность почвы одновременно удерживать и мобилизовать питательные элементы [50, 51].

Функциональная интерпретация

Величина v_{lab} отражает функционально активную водную среду, находящуюся в непосредственном контакте с поверхностью почвенных частиц и микропор [52–57]. Согласно А. А. Роде, именно эти формы воды определяют интенсивность биогеохимических процессов [58–62]. Эта фракция воды включает как сильно связанную (адсорбционную), так и слабо связанную (капиллярно-конденсационную) воду, которые являются основными носителями ионов и субстратом для ионного обмена.

Высокие значения удельного объема набухшей почвы и индекса набухания (SI) указывают на развитую дисперсную фазу и высокую удельную поверхность почвенной матрицы. Ряд исследований демонстрирует тесную связь между удельной поверхностью, минералогическим составом (особенно содержанием монтмориллонита) и количеством связанной воды. Эти параметры, в свою очередь, тесно коррелируют с емкостью катионного обмена и сорбционной способностью почв. В данном контексте SI может быть интерпретирован как интегральный показатель потенциальной трофности, отражающий способность почвы аккумулировать воду и ионы независимо от их текущей доступности растениям. В отличие от традиционной CEC, индекс SI учитывает не только химические сорбционные центры, но и их гидрофизическую реализацию, что особенно важно для почв с выраженной структурной неоднородностью.

Таким образом, **потенциальная трофность** определяется через SI и связана с удельной поверхностью и минералогическим составом [6, 63–66].

Электропроводность центрифугата (EC) отражает концентрацию ионов, реально мобилизованных в удержанной водной фазе при стандартных условиях гидратации. Многочисленные работы показывают, что EC почвенного раствора тесно связана с доступностью элементов питания и может служить индикатором текущего трофического состояния почв, особенно при сопоставимых условиях влажности.

Таким образом, р**еальная трофность** определяется через EC (мобилизованные ионы) [67, 68].

Разработанный метод позволяет выделить три сценария:

- Высокий SI, низкий EC: богатые, но «инертные» почвы.
- Низкий SI, высокий EC: временно высокая трофность при малом потенциале.
- Высокие SI и EC: функционально устойчивая трофность [69–72].

Показатель SI интегрирует не только химический потенциал (как ЕКО), но и гидрофизическую составляющую, отражая вклад структуры и степени гидратации [51, 73–75]. Интегральный индекс ITI рассматривает трофность как системное свойство почвенной матрицы [76–78].

Для оценки связей электрофизических параметров и показателей набухания нами проведен регрессионный анализ полученных результатов (таблица 1, рисунок 2).

Таблица 1. – Физико-химические и электрофизические показатели почвенных образцов в различных условиях структурного состояния

Name	w	v_{field}	p_b	v_{lab}	G	EC	SI	ITI
S-26	0,19	1,56	0,64	0,94	0,56	147,36	0,60	138,37
S-18	0,10	1,02	0,98	0,83	0,45	46,41	0,81	38,43
S-33	0,11	0,91	1,09	0,82	0,44	34,80	0,90	28,52
S-16	0,15	0,99	1,01	0,87	0,49	28,45	0,88	24,69
S-15	0,05	0,95	1,05	0,88	0,50	33,06	0,92	29,01
S-13	0,09	1,46	0,69	0,76	0,38	17,77	0,52	13,50
S-12	0,02	0,79	1,27	0,76	0,38	18,91	0,97	14,39
S-27	0,15	1,43	0,70	1,07	0,69	111,96	0,74	119,39
S-25	0,06	1,20	0,84	0,87	0,49	21,18	0,73	18,43
S-24	0,12	0,76	1,32	0,74	0,36	14,01	0,98	10,39
S-21	0,07	1,25	0,80	0,81	0,43	25,43	0,65	20,56
S-22	0,04	1,25	0,80	0,81	0,43	27,88	0,65	22,51
S-23	0,09	1,14	0,88	0,93	0,55	31,93	0,82	29,69

Примечание: **Name** – код образца почвы.

Полученные экспериментальные данные, представленные в таблице 1 и на графиках регрессионного анализа (рисунок 2), позволяют провести развернутое обсуждение механизмов формирования и трансформации трофического статуса почв.

Физико-химические детерминанты трофического статуса почв

Комплексный анализ экспериментального материала показывает, что функционирование почвенного матрикса определяется взаимодействием его структурных характеристик и электрофизических параметров, отражающих состояние органо-минеральной фазы.

1. Роль органо-минерального геля в формировании трофности

Корреляционная матрица (рисунок 2) подтверждает центральную роль лабораторного удельного объема (v_{lab}) в определении ресурсного потенциала почвенной системы.

– Связь с электропроводностью. Обнаружена сильная положительная корреляция между v_{lab} и удельной электропроводностью (EC, r = +0,74), что указывает на прямую зависимость между мощностью органо-минеральных «чехлов» на поверхности частиц и количеством доступных носителей заряда. Высокая степень корреляции между EC и v_{lab} подтверждает гипотезу о ключевой роли органо-минерально-

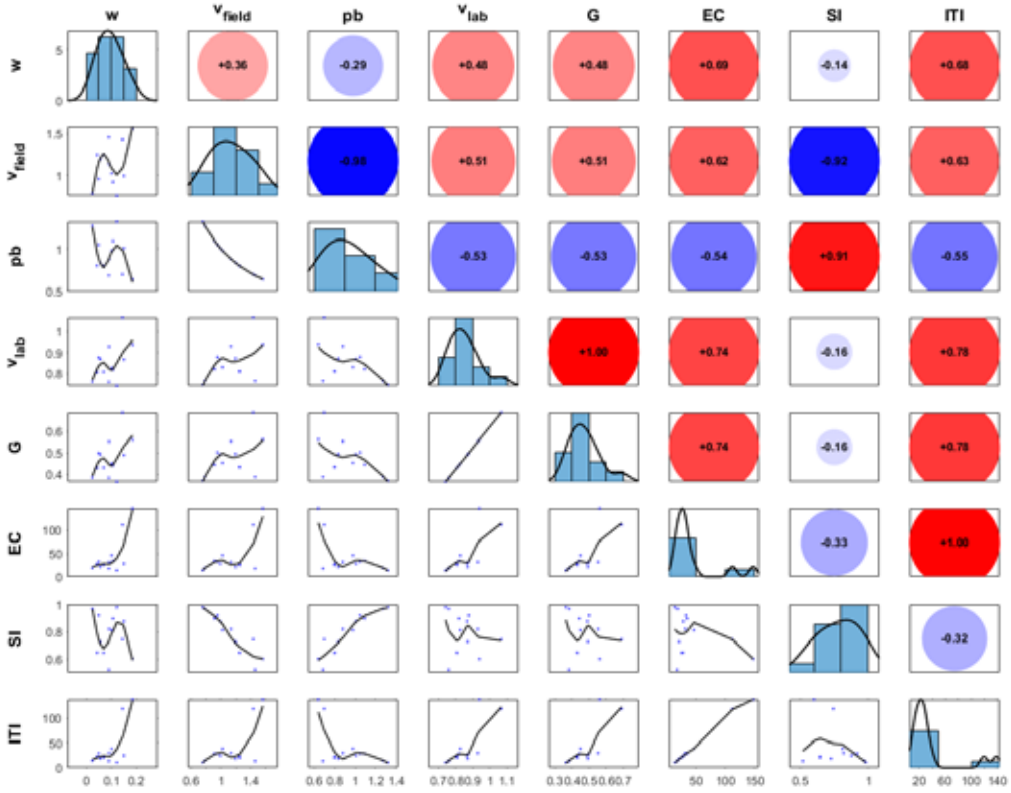


Рисунок 2. – Корреляционные зависимости между электрофизическими параметрами и показателями набухания почвенных образцов

го геля как основного аккумулятора ионов в исследуемых почвах. Рост v_{lab} отражает увеличение мощности адсорбционных слоев и органо-минеральных «чехлов» на минеральных частицах, что ведет к расширению потенциального фонда трофности. В момент измерения EC фиксируется переход этого потенциала в реальную трофность за счет гидратации и диссоциации удерживаемых ионов.

– **Интегральный показатель.** Значимая корреляция v_{lab} с интегральным трофическим индексом (ITI, r = +0,78) подтверждает, что параметры набухаемости служат надежным предиктором емкости питательной среды и обобщенной обеспеченности элементами питания.

– **Эквивалентность индексов.** Идеальная корреляция между v_{lab} и коэффициентом потенциала набухания (G, r = +1,00) свидетельствует о функциональной эквивалентности этих показателей и их идентичной способности описывать гидрофильность и активную поверхность почвенных коллоидов.

2. Архитектоника матрицы как фактор блокировки ресурсов

Анализ графиков рассеяния и коэффициентов корреляции (рисунок 2) выявляет выраженный антагонизм между механической устойчивостью почвенной структуры и мобильностью нутриентов.

– **Механическая фиксация.** Полевой удельный объем (v_{field}) находится в жесткой обратной зависимости от плотности сложения (ρ_b, r = -0,98) и индекса структурной устойчивости (SI, r = -0,92), что указывает на решающую роль архитектоники агрегатов.

– **Ограничение доступности.** Высокие значения SI (например, 0,98 у образца S-24) соответствуют низким значениям электропроводности (14,01 мкСм·см$^{-1}$), что указывает на «запирание» органо-минерального геля внутри устойчивых агрегатов. Такая фиксация препятствует его гидратации и переходу элементов в активный почвенный раствор.

– **Плотность и SI.** Положительная корреляция между ρ_b и SI (r = +0,91) подтверждает, что уплотнение повышает механическую стабильность почвы, но одновременно снижает ее текущую трофическую отдачу.

– **Роль архитектоники.** Более низкий коэффициент корреляции на графике EC–

v_{field} (r= +0,62) по сравнению с лабораторными данными подчеркивает значимость пространственной организации почвенного матрикса. В полевых условиях стабильность порового пространства и агрегатов ограничивает мобильность ионов, «запирая» их внутри структурных элементов. Это объясняет более высокую вариативность полевых измерений, где реальная трофность жестко лимитирована текущим гидротермическим режимом и доступностью поверхностей, покрытых гелем.

3. Динамика ITI и влажности

– **Функциональная зависимость.** Линейная зависимость ITI от EC с коэффициентом корреляции r = +1,00 делает электропроводность прямым индикатором реализованного трофического потенциала в рамках данной модели.

– **Влияние влажности.** Умеренная положительная корреляция полевой весовой влажности (w) с EC (r = +0,69) и ITI (r = +0,68) подчеркивает лабильность реальной трофности и необходимость учета гидрологического состояния при интерпретации электрофизических данных. Это обосновывает применение температурной и влажностной коррекции для сопоставимых полевых оценок.

4. Динамика и расхождение параметров v_{lab} и v_{field}

Сравнительный анализ удельного объема в лабораторных и полевых условиях представляет особый интерес. Несмотря на схожую направленность тренда, сравнительно низкое значение коэффициента детерминации (r = +0,51) свидетельствует о существенной физической трансформации почвенного матрикса при подготовке проб.

– **Эффект деструкции архитектоники.** Значения v_{lab} отражают «истинный» потенциал набухания органо-минеральных коллоидов, высвобождаемый после диспергирования и разрушения естественной структуры. В полевых условиях (v_{field}) этот потенциал часто остается скрытым из-за жесткой архитектоники, ограничивающей доступ воды к центрам гидратации внутри агрегатов.

– **«Запирание» потенциала.** Разница между v_{lab} и v_{field} может рассматриваться как количественный индикатор структурной устойчивости. Значительный разрыв между величинами указывает на наличие существенного резерва потенциальной трофности, изолированного внутри структурных отдельностей и временно выключенного из биогеохимического оборота.

5. Прогностическое значение соотношения параметров

Совместный анализ v_{lab} и v_{field} позволяет оценивать не только текущую обеспеченность элементами питания, но и ресурсную устойчивость почвы во времени.

– Высокие значения v_{lab} при низком v_{field} указывают на наличие мощного, но труднодоступного резерва, который может быть мобилизован лишь при интенсивных внешних воздействиях (механическая обработка, мелиорация).

– Сближение этих показателей характерно для бесструктурных или деградированных почв, где органо-минеральный гель лишен физической защиты и подвержен быстрым климатическим флуктуациям.

Таким образом, слабая корреляция между полевым и лабораторным удельными объемами не может рассматриваться как диагностический признак низкой буферности. Напротив, она отражает разрыв между фундаментальной емкостью потенциальной трофности и ее реальным проявлением в конкретный физиологический момент.

В целом статистический анализ подтверждает, что почвенный матрикс функционирует как динамическая система, в которой потенциальная трофность, аккумулированная в органо-минеральном геле, трансформируется в реальную под влиянием гидротермических факторов и степени деструкции почвенной архитектоники. Высокая чувствительность электрофизических параметров к изменениям удельного объема позволяет использовать их для оперативной диагностики состояния «чехлов» на минеральных частицах, что особенно важно при изучении воздействия внешних факторов на плодородие почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе разработан фазово-гидрофизический подход, позволяющий количественно разграничивать потенциальную и реальную трофность почв на основе совокупного анализа набухаемости, ионной подвижности и плотности сложения. Впервые трофический статус формализован как функция взаимодействия органо-

минерального геля и архитектоники почвенного матрикса, а не как статическое содержание элементов.

Показано, что лабораторный удельный объем отражает фундаментальный резерв питательных веществ, аккумулированный в органо-минеральных «чехлах», тогда как полевой удельный объем характеризует степень его текущей биогеохимической реализации. Электропроводность при этом выступает интегральным индикатором перехода потенциальной трофности в реальную.

Методика позволяет проводить экспресс-диагностику по одному керну без разрушения почвенного профиля и может быть использована для оценки устойчивости трофического режима, прогнозирования реакции почв на внешние воздействия и мониторинга деградационных процессов. Особую практическую значимость подход представляет для оценки условий выращивания в культуре и произрастания лекарственных растений в природных условиях, биосинтез вторичных метаболитов которых чувствителен не столько к валовому содержанию элементов, сколько к динамике их доступности в почвенном растворе.

SUMMARY

G. N. Buzuk

PHASE-BASED HYDROPHYSICAL EVALUATION OF POTENTIAL AND ACTUAL TROPHIC STATES OF SOILS

A comprehensive method for evaluating the trophic state of soils is proposed, based on a phase analysis of the system "solid phase – soil solution – ionic mobility". The method integrates field core sampling with laboratory measurements of bulk density, swelling ability specific volume and conductivity. An Integral Trophic Index (ITI) is introduced allowing to quantitatively differentiate between potential and actual soil trophic state avoiding labor-intensive granulometric and chemical analyses. It is stated that swelling ability parameters of the soil matrix reflect thickness of organo-mineral "coatings" (potential trophic state), while conductivity characterizes the degree of ion mobilization upon moistening (actual trophic state). A "structural locking" effect of resources where high bulk density limits soil trophic potential realization was revealed. This method is applicable for express diagnostics of the soils of various genesis, monitoring degradation processes and assessing agro-ecological status of lands.

Keywords: soil trophic state, swelling ability, specific volume, conductivity, organo-mineral gel, Integral Trophic Index (ITI).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеин, Е. В. Теоретические основы гидрологии почв в трудах А. А. Роде и современные подходы к описанию движения и равновесия / Е. В. Шеин // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2016. – № 83. – С. 11–21. – DOI: 10.19047/0136-1694-2016-83-11-21.

2. Soil Electrical Conductivity / USDA. Natural Resources Conservation Service. – 2022. – URL: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf (date of access: 12.04.2026).

3. Kim, H. N. Monitoring of soil EC for the prediction of soil nutrient regime under different soil water and organic matter contents / H. N. Kim, J. H. Park // Applied biological chemistry. – 2024. – Vol. 67, N 1. – Art. 1. – DOI: 10.1186/s13765-023-00849-4.

4. Soil Health – Electrical Conductivity (EC). – Washington : Natural Resources Conservation Service, 2014.

5. Weil, R. R. The Nature and Properties of Soils / R. R. Weil, N. C. Brady. – 15th ed. – Boston : Pearson Education, 2016. – 1104 p.

6. Ross, G. J. Relationships of specific surface area and clay content to shrink–swell potential of soils having different clay mineralogical compositions / G. J. Ross // Canadian journal of soil science. – 1978. – Vol. 58. – P. 159–166. – DOI: 10.4141/cjss78-020.

7. Бузук, Г. Н. Определение почвенных индексов в качестве показателей трофности почв в фитоценозах / Г. Н. Бузук // Вестник фармации. – 2022. – № 4. – С. 46–54. – DOI: 10.52540/2074-9457.2022.4.46.

8. Бузук, Г. Н. Определение трофности почв электрофизическим методом. Сообщение 4. Почвенная матрица / Г. Н. Бузук // Вестник фармации. – 2022. – № 1. – С. 56–62. – DOI: 10.52540/2074-9457.2022.1.56.

9. Soil Sampling Instructions / Colorado State University. – 2025. – URL: https://agsci.colostate.edu/soiltestinglab/wp-content/uploads/sites/140/2025/03/SOIL-SAMPLING-INSTRUCTIONS-03192025.pdf (date of access: 12.04.2026).

10. Soil Sampling. Standard Operating Procedures / Nevada Division of Environmental Protection. – URL: https://ndep.nv.gov/uploads/env-brownfields-qaplans-docs/SOP_Soil_Sam-

pling_ERT.pdf (date of access: 12.04.2026).

11. SOP #SRCOGDEN02. Surface Soil Sampling / U.S. EPA Region 8. – 2001. – URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/r8-src_src-ogden-02.pdf (date of access:).

12. Soil Column Cylinder Auger Set / Royal Eijkelkamp. – URL: https://www.royaleijkelkamp.com/products/augers-samplers/soil-samplers/machine-operated-auger-sets/soil-column-cylinder-auger-set/ (date of access: 12.04.2026).

13. Шеин, Е. В. Агрофизика / Е. В. Шеин, В. М. Гончаров. – Москва : Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2006. – 194 с.

14. Soil quality – Determination of dry bulk density : ISO 11272:2017. – Geneva : ISO, 2017.

15. Blake, G. R. Bulk density / G. R. Blake, K. H. Hartge // Methods of Soil Analysis. Part 1. – Madison : Soil Science Society of America, 1986. – P. 363–375.

16. Soil Health – Bulk Density. – Washington : Natural Resources Conservation Service, 2014. – 12 p.

17. Soil Sampling Protocols / USDA, Agricultural Research Service. – URL: https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20361500/pdf_pubs/P1080.pdf (date of access: 12.04.2026).

18. Gunasekaran, K. Real-time soil fertility analysis / K. Gunasekaran, A. Karmel, P. Sreevardhan // Frontiers in soil science. – 2025. – Vol. 5. – DOI: 10.3389/fsoil.2025.1652058.

19. Sanchez, P. A. Soil Fertility Principles / P. Sanchez // Properties and Management of Soils in the Tropics / P. Sanchez. – 2nd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2019. – P. 309–325.

20. Бузук, Г. Н. Метод изменяющегося геометрического коэффициента для определения электропроводности/ электросопротивления почв / Г. Н. Бузук // Вестник фармации. – 2025. – № 2. – С. 41–53. – DOI: 10.52540/2074-9457.2025.2.

21. Бузук, Г. Н. Многочастотный импедансный анализ почв: методология / Г. Н. Бузук // Вестник фармации. – 2025. – № 4 (110). – С. 42–58.

22. Методические принципы определения плотности сложения черноземных почв / И. В. Морозов, Д. Э. Варельджан, Я. В. Боровикова, Н. А. Колесникова // Живые и биокосные системы. – 2017. – № 22. – DOI: 10.18522/2308-9709-2017-22-9.

23. К вопросу об определении плотности сложения для оценки агрофизического состояния набухающих почв и грунтов / И. В. Морозов, В. Э. Болдырева, Д. Э. Варельджан, Н. А. Колесникова // Живые и биокосные системы. – 2020. – № 32. – DOI: 10.18522/2308-9709-2020-32-7.

24. Королев, В. А. К методике определения плотности сложения почв тяжелого гранулометрического состава / В. А. Королев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2007. – № 1. – С. 76–79.

25. Равновесная плотность почвы: анализ дефиниций и методология / Ф. Г. Бакиров, Ю. М. Нестеренко, Д. Г. Поляков, А. В. Халин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2. – С. 11–13.

26. Варельджан, Д. Э. Определение плотности твердой фазы набухающих почв расчетным методом / Д. Э. Варельджан, Я. В. Хорькова, И. В. Морозов // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. статей VII Междунар. науч.-практ. конф. : в 4 ч. / ред. Г. Ю. Гуляев. – 2019. – Ч. 1. – С. 76–80.

27. Elsaidy, H. A novel formula for the prediction of swelling pressure of compacted expansive soils / H. Elsaidy, W. M. Yan, M. J. Pender // Géotechnique Letters. – 2019. – Vol. 9, N 3. – P. 231–237. – DOI: 10.1680/jgele.18.00203.

28. Erguler, Z. A. A simple test and predictive models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) Clay / Z. A. Erguler, R. Ulusay // Engineering geology. – 2003. – Vol. 67, N 3/4. – P. 331–352. – DOI: 10.1016/S0013-7952(02)00205-3.

29. Prakash, K. Free swell ratio and clay mineralogy of fine-grained soils / K. Prakash, A. Sridharan // Geotechnical testing journal. – 2004. – Vol. 27, N 2. – P. 220–225. – DOI: 10.1520/GTJ10860.

30. Varma, S. S. Predictive models for estimation of swelling characteristics of expansive soils based on the index properties / S. S. Varma, M. Gupta, R. Chitra // Problematic Soils and Geoenvironmental Concerns, Proceedings of IGC 2018 / ed.: M. L. Gali, P. R. Rao. – Singapore : Springer, 2020. – P. 537–548.

31. Briggs, L. J. The moisture equivalent of soils / L. J. Briggs, J. W. McLane. – Washington : USDA, 1907. – 23 p.

32. Круглова, Г. И. Методы исследования физико-химических свойств глинистых минералов / Г. И. Круглова. – Ташкент : Изд-во АН УзССР, 1963. – 124 с.

33. Methods of Soil Analysis. Part 4 : Physical Methods / ed.: J. H. Dane, G. C. Topp. – Madison : Soil Science Society of America, 2002. – 1692 p.

34. Воронин, А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А. Д. Воронин. – Москва : Изд-во Московского гос. ун-та, 1984. – 204 с.

35. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 416 с.

36. Experimental Data on Maximum Swelling Pressure of Clayey Soils and Related Soil

Properties / R. Taherdangkoo, M. Shehab, T. Nagel [et al.] // Data. – 2024. – Vol. 9, N 4. – Art. 57. – DOI: 10.3390/data9040057.

37. Smagin, A. V. Column-centrifugation method for determining water retention curves of soils and disperse sediments / A. V. Smagin // Eurasian soil science. – 2012. – Vol. 45, N 4. – P. 416–422. – DOI: 10.1134/S1064229312040126.

38. Mesurer la capacite de retention en eau d'un sol par centrifugation : une methode fiable, facile et rapide a mettre en œuvre dans un laboratoire / S. Revaillot, C. Pouget, G. Alvarez, S. Fontaine // NOV'AE. – 2021. – N 107.

39. Aylmore, L. A. G. The chemistry of clay–cation interaction / L. A. G. Aylmore, J. P. Quirk // Advances in Agronomy. – 1969. – Vol. 21. – P. 1–40.

40. Rengasamy, P. Exchangeable cations and clay dispersion : net dispersive charge, a new concept for dispersive soil / P. Rengasamy, E. Tavakkoli, G. K. McDonald // European journal of soil science. – 2016. – Vol. 67. – P. 1–14. – DOI: 10.1111/ejss.12369.

41. Dispersed clay and organic matter in soil : their nature and associations / P. N. Nelson, A. Baldock, P. Clarke [et al.] // Australian journal of soil research. – 1999. – Vol. 37, N 2. – P. 289–316. – DOI: 10.1071/S98076.

42. Sumner, M. E. Cation exchange capacity and exchange coefficients / M. E. Sumner, W. P. Miller // Methods of Soil Analysis. Part 3 / ed. D. L. Sparks. – Madison : Soil Science Society of America, 1996. – P. 1201–1229.

43. Tang, L. Soil fertility, plant nutrition and nutrient management / L. Tang // Plants. – 2024. – Vol. 14, N 1. – P. 34. – DOI: 10.3390/plants14010034.

44. Kargas, G. Comparison of soil EC values from methods based on 1:1 and 1:5 soil to water ratios and EC_e from saturated paste extract based method / G. Kargas, P. Landra, A. Sgoubopoulou // Water. – 2020. – Vol. 12, N 4. – Art. 1010. – DOI: 10.3390/w12041010.

45. Corwin, D. L. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids / D. L. Corwin, K. Yemoto // Methods of Soil Analysis. – Madison : Soil Science Society of America, 2017.

46. Hanson, B. R. Salinity and leaching in irrigated soils / B. R. Hanson. – Davis : UC ANR, 2015.

47. Alkayış, M. H. Laboratory-scale geotechnical centrifuge test system desing and consolidation behavior analysis / M. H. Alkayış, M. İ. Onur // Arabian journal of geosciences. – 2022. – Vol. 15, N 10. – Art. 995. – DOI: 10.1007/s12517-021-09375-3.

48. Khanzode, R. M. Measurement of soil-water characteristic curves for fine-grained soils using a small-scale centrifuge / R. M. Khanzode, S. K. Vanapall, D. G. Fredlund // Canadian geotechnical journal. – 2002. – Vol. 39, N 5. – P. 1209–1217. – DOI: 10.1139/t02-060.

49. Бузук, Г. Н. Определение трофности почв электрофизическим методом. Сообщение 9. От линеаризации к экспоненциальной регрессии и корректировке влажности / Г. Н. Бузук // Вестник фармации. – 2025. – № 1. – С. 58–69. – DOI: 10.52540/2074-9457.2025.1.58.

50. Hawkins, E. Using Soil Electrical Conductivity (EC) to Delineate Field Variation / E. Hawkins, J. Fulton, K. Port // Ohio State University Extension. – 2017.

51. Soil electrical conductivity: The complete guide to measurements / METER Group. – URL: https://metergroup.com/education-guides/soil-electrical-conductivity-the-complete-guide-to-measurements/ (date of access: 12.04.2026).

52. Rapid Estimation of Soil Electrical Conductivity (ECe) in Arid Regions Using Pedotransfer Functions, FTIR Spectroscopy and Machine Learning / A. Lazaar, T. E. Moatassem, L. Tajeddine [et al.] // Earth systems and environment. – 2025. – P. 1–23. – DOI: 10.1007/s41748-025-00800-1.

53. Evaluation of soil water content and bulk electrical conductivity across the U.S. Climate Reference Network using two electromagnetic sensors / T. B. Wilson, J. Kochendorfer, H. J. Diamond [et al.] // Vadose zone journal. – 2024. – Vol. 23, N 4. – Art. e20336. – DOI: 10.1002/vzj2.20336.

54. Bazykina, G. S. In memory of a classic of Dokuchaev's Pedology Aleksei Andreevich Rode (1896–1979) / G. S. Bazykina // Eurasian soil science. – 2006. – Vol. 39, N 11. – P. 1255–1256. – DOI: 10.1134/S1064229306110147.

55. Rode A. A. Works by A. A. Rode // Open Library. – URL: https://openlibrary.org/authors/OL2193962A/A._A._Rode.

56. Роде, А. А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1 / А. А. Роде. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1965. – 664 с.

57. Роде, А. А. Основы учения о почвенной влаге / А. А. Роде. – Москва : Изд-во Академии наук СССР, 1956.

58. Шеин, Е. В. Теоретические основы гидрологии почв в трудах А. А. Роде и современные подходы к описанию движения и равновесия / Е. В. Шеин // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2016. – № 83. – С. 11–21. – DOI: 10.19047/0136-1694-2016-83-11-21.

59. How to Calculate Soil Water Content? / The Institute for Environmental Research and Education. – 2024. – URL: https://iere.org/how-to-calculate-soil-water-content/ (date of access: 12.04.2026).

60. How to calculate volumetric water content of soil? / GardenerBible. – 2025. – URL: https://gardenerbible.com/how-to-calculate-volumetric-water-content-of-soil/ (date of access:

12.04.2026).

61. Combined effect of mineralogical and chemical parameters on swelling behaviour of expansive soils / B. H. Rao, P. S. Reddy, B. Mohanty, K. R. Reddy // Scientific reports. – 2021. – Vol. 11. – Art. 16562. – DOI: 10.1038/s41598-021-95746-5.

62. Specific surface area of soils can be estimated from hygroscopic water content / F. Yan, M. Tuller, L. W. Jonge [et al.] // Geoderma. – 2023. – Vol. 438. – Art. 116614. – DOI: 10.1016/j.geoderma.2023.116614.

63. Cerato, A. B. Activity, relative activity and specific surface area of fine-grained soils Activité, Activité Relative и Superficie Specifique de Sols Granuleux Fins / A. B. Cerato, A. J. Lutenegger // Conference : proceedings of the 16th International Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Osaka, 2005. – P. 325–330.

64. Monitoring of soil fertility using in situ soil electrical conductivity sensor in sports turf field / K. A. Anselmi, N. C. Hansen, B. G. Hopkins, A. Hulet // International Turfgrass Society research journal. – 2025. – Vol. 15, N 1. – P. 1135–1138. – DOI: 10.1002/its2.70080.

65. What is EC in soil testing? / GardenerBible. – 2025. – URL: https://gardenerbible.com/what-is-ec-in-soil-testing/ (date of access: 12.04.2026).

66. Improvement of the chemical properties and buffering capacity of coastal sandy soil as affected by clays and organic by-product application / F. Minhal, A. Maas, E. Hanudin, P. Sudira // Soil and water research. – 2020. – Vol. 15, N 2. – P. 93–100. – DOI: 10.17221/55/2019-SWR.

67. Effect of Clay and Organic Matter Amendments on Water and Nutrient Retention of Sandy Soils: Column Leaching Experiment / J. E. Ogunniyi, B. T. Olowookere, I. G. Burns [et al.] // International journal of agriculture and earth science. – 2021. – Vol. 7, N 2. – P. 1–16.

68. Sandy soil reclamation technologies to improve crop productivity and soil health: a review / S. K. Musei, S. Kuyah, S. Nyawira [et al.] // Frontiers in soil science. – 2024. – Vol. 4. – Art. 1345895. – DOI: 10.3389/fsoil.2024.1345895.

69. Yilmaz, I. Relationships between liquid limit, cation exchange capacity, and swelling potentials of clayey soils / I. Yilmaz // Eurasian soil science. – 2004. – Vol. 37, N 5. – P. 506–512. – DOI: 10.1023/B:EURS.0000029883.33707.95.

70. Spagnoli, G. A statistical reappraisal of the relationship between liquid limit and specific surface area, cation exchange capacity and activity of clays / G. Spagnoli, S. Shimobe // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2019. – Vol. 11, N 4. – DOI: 10.1016/j.jrmge.2018.11.007. – URL: https://www.academia.edu/110436538 (date of access: 12.04.2026).

71. Asghari, S. Role of cation exchange and SSA in microbial calcite precipitation / S. Asghari, B. C. S. Chittoori, J. Pierce // Discover soil. – 2025. – Vol. 2, N 1. – Art. 55. – DOI: 10.1007/s44378-025-00079-8.

72. Rode, A. A. Water regime of certain important soil types of the USSR / A. A. Rode. – Jerusalem : IPST, 1970. – 48 p.

73. Romanova, T. The essence of soil formation in accordance with soil water regime / T. Romanova, A. Chervan, N. Ivakhnenko // Journal of Geography and Cartography. – 2024. – Vol. 7, N 2. – Art. 6271. – DOI: 10.24294/jgc.v7i2.6271.

74. Rode, A. A. Theory of Soil Moisture. Vol. 1 / A. A. Rode. – Jerusalem : IPST, 1969. – 570 p.

REFERENCES

1. Shein EV. Theoretical foundations of soil hydrology in the works of A. A. Rode and modern approaches to the description of movement and equilibrium. Biulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. 2016;(83):11–21. doi: 10.19047/0136-1694-2016-83-11-21. (In Russ.)

2. USDA. Natural Resources Conservation Service. Soil Electrical Conductivity. 2022. URL: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf (date of access: 12.04.2026)

3. Kim HN, Park JH. Monitoring of soil EC for the prediction of soil nutrient regime under different soil water and organic matter contents. Appl Biol Chem. 2024;67(1 Art 1). doi: 10.1186/s13765-023-00849-4

4. Soil Health – Electrical Conductivity (EC). Washington, USA: Natural Resources Conservation Service; 2014

5. Weil RR, Brady NC. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. Boston, USA: Pearson Education; 2016. 1104 p

6. Ross GJ. Relationships of specific surface area and clay content to shrink–swell potential of soils having different clay mineralogical compositions. Can J Soil Sci. 1978;58:159–66. doi: 10.4141/cjss78-020

7. Buzuk GN. Determination of soil indices as indicators of soil trophism in phytocenoses. Vestnik farmatsii. 2022;(4):46–54. doi: 10.52540/2074-9457.2022.4.46. (In Russ.)

8. Buzuk GN. Determination of soil trophicity by the electrophysical method. Message 4. Soil matrix. Vestnik farmatsii. 2022;(1):56–62. doi: 10.52540/2074-9457.2022.1.56. (In Russ.)

9. Colorado State University. Soil Sampling Instructions. 2025. URL: https://agsci.colostate.edu/soiltestinglab/wp-content/uploads/sites/140/2025/03/SOIL-SAMPLING-INSTRUCTIONS-03192025.pdf (date of access: 12.04.2026).

10. Nevada Division of Environmental Protection. Soil Sampling. Standard Operating Pro-

cedures. URL: https://ndep.nv.gov/uploads/env-brownfields-qaplans-docs/SOP_Soil_Sampling_ERT.pdf (date of access: 12.04.2026)

11. U.S. EPA Region 8. SOP #SRCOG-DEN02. Surface Soil Sampling. 2001. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/r8-src_src-ogden-02.pdf (date of access: 12.04.2026)

12. Royal Eijkelkamp. Soil Column Cylinder Auger Set. URL: https://www.royaleijkelkamp.com/products/augers-samplers/soil-samplers/machine-operated-auger-sets/soil-column-cylinder-auger-set/ (date of access: 12.04.2026)

13. Shein EV, Goncharov VM. Agrophysics. Moskva, RF: Moskovskii gos un-t im MV Lomonosova; 2006. 194 s. (In Russ.)

14. Soil quality – Determination of dry bulk density: ISO 11272:2017. Geneva, Switzerland: ISO; 2017

15. Blake GR, Hartge KH. Bulk density. Methods of Soil Analysis. Part 1. Madison, USA: Soil Science Society of America; 1986. p. 363–75

16. Soil Health – Bulk Density. Washington, USA: Natural Resources Conservation Service; 2014. 12 p

17. USDA, Agricultural Research Service. Soil Sampling Protocols. URL: https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20361500/pdf_pubs/P1080.pdf (date of access: 12.04.2026)

18. Gunasekaran K, Karmel A, Sreevardhan P. Real-time soil fertility analysis. Front Soil Sci. 2025;5. doi: 10.3389/fsoil.2025.1652058

19. Sanchez P. A. Soil Fertility Principles. In: Sanchez P. Properties and Management of Soils in the Tropics. 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2019. p. 309–25

20. Buzuk GN. Variable geometric coefficient method for determining the electrical conductivity/resistivity of soils. Vestnik farmatsii. 2025;(2):41–53. doi: 10.52540/2074-9457.2025.2. (In Russ.)

21. Buzuk GN. Multifrequency impedance analysis of soils: methodology. Vestnik farmatsii. 2025;(4):42–58. (In Russ.)

22. Morozov IV, Varel'dzhan DE, Borovikova IaV, Kolesnikova NA. Methodological principles for determining the bulk density of chernozem soils. Zhivye i biokosnye sistemy. 2017;(22). doi: 10.18522/2308-9709-2017-22-9. (In Russ.)

23. Morozov IV, Boldyreva VE, Varel'dzhan DE, Kolesnikova NA. On the issue of determining the bulk density for assessing the agrophysical state of swelling soils and grounds. Zhivye i biokosnye sistemy. 2020;(32). doi: 10.18522/2308-9709-2020-32-7. (In Russ.)

24. Korolev VA. To the method of determining the bulk density of soils with heavy granulometric composition. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia: Khimiia. Biologiia. Farmatsiia. 2007;(1):76–9. (In Russ.)

25. Bakirov FG, Nesterenko IuM, Poliakov DG, Khalin AV. Equilibrium density of soil: analysis of definitions and methodology. Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018;(2):11–3. (In Russ.)

26. Varel'dzhan DE, Khor'iakova IaV, Morozov IV. Determination of the density of the solid phase of swelling soils by the calculation method. V: Guliaev GIu, redaktor. Sovremennaia nauka: aktual'nye voprosy, dostizheniia i innovatsii : sb statei VII Mezhdunar nauch-prakt konf : v 4 ch 2019. Ch. 1. s. 76–80. (In Russ.)

27. Elsaidy H, Yan WM, Pender MJ. A novel formula for the prediction of swelling pressure of compacted expansive soils. Géotechnique Letters. 2019;9(3):231–7. doi: 10.1680/jgele.18.00203

28. Erguler ZA, Ulusay R. A simple test and predictive models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) Clay. Eng Geol. 2003;67(3-4):331–52. doi: 10.1016/S0013-7952(02)00205-3

29. Prakash K, Sridharan A. Free swell ratio and clay mineralogy of fine-grained soils. Geotechnical Testing Journal. 2004;27(2):220–5. doi: 10.1520/GTJ10860

30. Varma SS, Gupta M, Chitra R. Predictive models for estimation of swelling characteristics of expansive soils based on the index properties. In: Gali ML, Rao PR, editors. Problematic Soils and Geoenvironmental Concerns, Proceedings of IGC 2018. Singapore: Springer; 2020. p. 537–48

31. Briggs LJ, McLane JW. The moisture equivalent of soils. Washington, USA: USDA; 1907. 23 p

32. Kruglova GI. Methods for studying the physical and chemical properties of clay minerals. Tashkent, Uzbekistan: Izd-vo Akademii nauk Uzbekskoi SSR, 1963. 124 s. (In Russ.)

33. Dane JH, Topp GC, editors. Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods. Madison, USA: Soil Science Society of America; 2002. 1692 p

34. Voronin AD. Structural and functional hydrophysics of soils. Moskva, RF: Izd-vo Moskovskogo gos un-ta; 1984. 204 s. (In Russ.)

35. Vadiunina AF, Korchagina ZA. Methods for studying the physical properties of soils. Moskva, RF: Agropromizdat; 1986. 416 s. (In Russ.)

36. Taherdangkoo R, Shehab M, Nagel T, Ardejani FD, Butscher C. Experimental Data on Maximum Swelling Pressure of Clayey Soils and Related Soil Properties. Data. 2024;9(4 Art 57). doi: 10.3390/data9040057

37. Smagin AV. Column-centrifugation method for determining water retention curves of soils and disperse sediments. Eurasia Soil Sci. 2012;45(4):416–22. doi: 10.1134/S1064229312040126

38. Revaillot S, Pouget C, Alvarez G, Fontaine S. Mesurer la capacite de retention en eau d'un sol par centrifugation : une methode fiable, facile et rapide a mettre en œuvre dans un labora-

toire. NOV'AE. 2021;(107). (French)

39. Aylmore LAG, Quirk JP. The chemistry of clay–cation interaction. Advances in Agronomy. 1969;21:1–40

40. Rengasamy P, Tavakkoli E, McDonald GK. Exchangeable cations and clay dispersion : net dispersive charge, a new concept for dispersive soil. Eur J Soil Sci. 2016;67:1–14. doi: 10.1111/ejss.12369

41. Nelson PN, Baldock A, Clarke P, Oades JM, Churchman GJ. Dispersed clay and organic matter in soil : their nature and associations. Australian Journal of Soil Research. 1999;37(2):289–316. doi: 10.1071/S98076

42. Sumner ME, Miller WP. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks DL, editor. Methods of Soil Analysis. Part 3. Madison, USA: Soil Science Society of America; 1996. p. 1201–29

43. Tang L. Soil fertility, plant nutrition and nutrient management. Plants (Basel). 2024;14(1):34. doi: 10.3390/plants14010034

44. Kargas G, Landra P, Sgoubopoulou A. Comparison of soil EC values from methods based on 1:1 and 1:5 soil to water ratios and EC_e from saturated paste extract based method. Water (Basel). 2020;12(4 Art 1010). doi: 10.3390/w12041010

45. Corwin DL, Yemoto K. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of Soil Analysis. Madison, USA: Soil Science Society of America; 2017

46. Hanson BR. Salinity and leaching in irrigated soils. Davis, USA: UC ANR; 2015

47. Alkayış MH, Onur Mİ. Laboratory-scale geotechnical centrifuge test system desing and consolidation behavior analysis. Arabian Journal of Geosciences. 2022;15(10 Art 995). doi: 10.1007/s12517-021-09375-3

48. Khanzode RM, Vanapall SK, Fredlund DG. Measurement of soil-water characteristic curves for fine-grained soils using a small-scale centrifuge. Canadian Geotechnical Journal. 2002;39(5):1209–17. doi: 10.1139/t02-060

49. Buzuk GN. Determining Soil Trophicity by the Electrophysical Method. Message 9. From Linearization to Exponential Regression and Moisture Correction. Vestnik farmatsii. 2025;(1):58–69. doi: 10.52540/2074-9457.2025.1.58. (In Russ.)

50. Hawkins E, Fulton J, Port K. Using Soil Electrical Conductivity (EC) to Delineate Field Variation. Ohio State University Extension. 2017

51. METER Group. Soil electrical conductivity: The complete guide to measurements. URL: https://metergroup.com/education-guides/soil-electrical-conductivity-the-complete-guide-to-measurements/ (date of access: 12.04.2026)

52. Lazaar A, Moatassem TE, Tajeddine L, Mansour LA, Kebede F. Rapid Estimation of Soil Electrical Conductivity (ECe) in Arid Regions Using Pedotransfer Functions, FTIR Spectroscopy and Machine Learning. Earth syst Environ. 2025:1–23. doi: 10.1007/s41748-025-00800-1

53. Wilson TB, Kochendorfer J, Diamond HJ, Meyers TP, Hall M, Lee TR, et al. Evaluation of soil water content and bulk electrical conductivity across the U.S. Climate Reference Network using two electromagnetic sensors. Vadose Zone J. 2024;23(4 Art e20336). doi: 10.1002/vzj2.20336

54. Bazykina GS. In memory of a classic of Dokuchaev's Pedology Aleksei Andreevich Rode (1896–1979). Eurasia Soil Sci. 2006;39(11):1255–6. doi: 10.1134/S1064229306110147

55. Rode AA. Works by A. A. Rode. Open Library. URL: https://openlibrary.org/authors/OL2193962A/A._A._Rode (date of access: 12.04.2026)

56. Rode AA. Fundamentals of the Doctrine of Soil Moisture. Vol. 1. Leningrad, RF: Gidrometeoizdat; 1965. 664 s. (In Russ.)

57. Rode AA. Fundamentals of the Doctrine of Soil Moisture. Moskva, RF: Izd-vo Akademii nauk SSSR; 1956. (In Russ.)

58. Shein EV. Theoretical foundations of soil hydrology in the works of A. A. Rode and modern approaches to the description of movement and equilibrium. Biulleten' Pochvennogo instituta im VV. Dokuchaeva. 2016;(83):11–21. doi: 10.19047/0136-1694-2016-83-11-21. (In Russ.)

59. The Institute for Environmental Research and Education. How to Calculate Soil Water Content? 2024. URL: https://iere.org/how-to-calculate-soil-water-content/ (date of access: 12.04.2026)

60. GardenerBible. How to calculate volumetric water content of soil? 2025. URL: https://gardenerbible.com/how-to-calculate-volumetric-water-content-of-soil/ (date of access: 12.04.2026)

61. Rao BH, Reddy PS, Mohanty B, Reddy KR. Combined effect of mineralogical and chemical parameters on swelling behaviour of expansive soils. Sci Rep. 2021;11(Art 16562). doi: 10.1038/s41598-021-95746-5

62. Yan F, Tuller M, Jonge LW, Moldrup P, Arthur E. Specific surface area of soils can be estimated from hygroscopic water content. Geoderma. 2023;438(Art 116614). doi: 10.1016/j.geoderma.2023.116614

63. Cerato AB, Lutenegger AJ. Activity, relative activity and specific surface area of fine-grained soils Activité, Activité Relative и Superficie Specifique de Sols Granuleux Fins. Conference: proceedings of the 16th International Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Osaka, Japan; 2005. p. 325–30

64. Anselmi KA, Hansen NC, Hopkins BG, Hulet A. Monitoring of soil fertility using in situ soil electrical conductivity sensor in sports turf field. Int Turfgrass Soc Res J. 2025;15(1):1135–8. doi: 10.1002/its2.70080

65. GardenerBible. What is EC in soil test-

ing? 2025. URL: https://gardenerbible.com/what-is-ec-in-soil-testing/ (date of access: 12.04.2026)

66. Minhal F, Maas A, Hanudin E, Sudira P. Improvement of the chemical properties and buffering capacity of coastal sandy soil as affected by clays and organic by-product application. Soil and Water Research. 2020;15(2):93–100. doi: 10.17221/55/2019-SWR

67. Ogunniyi JE, Olowookere BT, Burns IG, Lillywhite R, Rickson RJ. Effect of Clay and Organic Matter Amendments on Water and Nutrient Retention of Sandy Soils: Column Leaching Experiment. International Journal of Agriculture and Earth Science. 2021;7(2):1–16

68. Musei SK, Kuyah S, Nyawira S, Ng'ang'a SK, Karugu WN, Smucker A, et al. Sandy soil reclamation technologies to improve crop productivity and soil health: a review. Front Soil Sci. 2024;4(Art 1345895). doi: 10.3389/fsoil.2024.1345895

69. Yilmaz I. Relationships between liquid limit, cation exchange capacity, and swelling potentials of clayey soils. Eurasia Soil Sci. 2004;37(5):506–12. doi: 10.1023/B:EURS.0000029883.33707.95

70. Spagnoli G, Shimobe S. A statistical reappraisal of the relationship between liquid limit and specific surface area, cation exchange capacity and activity of clays. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019;11(4). doi: 10.1016/j.jrmge.2018.11.007. URL: https://www.academia.edu/110436538 (date of access: 12.04.2026)

71. Asghari S, Chittoori BCS, Pierce J. Role of cation exchange and specific surface area in microbial calcite precipitation in clayey soils. Discov Soil. 2025;2(1 Art 55). doi: 10.1007/s44378-025-00079-8

72. Rode AA. Water regime of certain important soil types of the USSR. Jerusalem, Israel: IPST; 1970. 48 p

73. Romanova T, Chervan A, Ivakhnenko N. The essence of soil formation in accordance with soil water regime. Journal of Geography and Cartography. 2024;7(2 Art 6271). doi: 10.24294/jgc.v7i2.6271

74. Rode AA. Theory of Soil Moisture. Vol. 1. Jerusalem, Israel: IPST; 1969. 570 p

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 15.04.2026 г.

УДК 631.42:631.43 DOI: https://doi.org/10.52540/2074-9457.2026.2.27

Г. Н. Бузук

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОЧВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

г. Витебск, Республика Беларусь

Предложен метод количественной оценки глинистой фракции почв, основанный на определении удельного объема гидратированной системы v_{lab} после стандартизованной физико-химической обработки (увлажнение, ультразвуковое диспергирование и центрифугирование). Показано, что величина v_{lab} интегрально отражает суммарный вклад структурно-минеральной матрицы и процессов гидратации, связанных с тонкодисперсной фазой почвенного профиля. Для интерпретации результатов введена нормированная шкала на основе экспериментальных эталонов чистого кварцевого песка и региональной эталонной глины. Выведена аналитическая формула расчета эффективной (функциональной) глинистости (Clay %).

Введена нормированная шкала интерпретации результатов на основе экспериментальных эталонов песка и глины, позволяющая рассчитывать эффективную (функциональную) долю глинистой фракции. Параллельно проведен анализ частотно-зависимой электропроводности почвенных суспензий, на основании которого предложена интерпретация параметров GR_{1k} и GR_{100k} как индикаторов потенциальной и актуальной трофности почвы.