

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА
AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 631.48
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-3-200-213>

Поступила в редакцию 17.05.2023
Received 17.05.2023

Т. А. Романова, Н. Н. Ивахненко, А. Н. Червань¹

¹*Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь*

**ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТЬ ПОЧВ
КАК ОСНОВА НЕИСТОЩИТЕЛЬНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
И ПРЕЦИЗИОННОЙ МЕЛИОРАЦИИ**

Аннотация. Рассмотрен массив данных (15 000 чисел) для восьми почвенных разновидностей через спектр свойств, включенных в программу фундаментальных исследований по генетическому почвоведению. С целью расширения представлений о сущности почвообразования и природы почв и в связи с необходимостью уточнения научного определения понятий «почва», «почвообразовательный процесс», «гидроморфизм» изучались свойства почв автохтонного увлажнения, развитых на лессовидных суглинках, как основа диагностики их генезиса и разнообразия. Исследования базируются на большом материале многолетних исследований строения профиля, водно-физических и химических свойств наиболее плодородных почв Беларуси, сформированных на лессовидных суглинках Минской гряды. Установлено отличие почв от почвоподобных тел, определена роль микробиоты как основы превращения горной породы в почву, модели химической дифференциации профилей, биоэнергетический потенциал почв. Проведенные исследования способствуют углублению общих представлений о почвах, водном режиме как маркере генезиса почв, а также объективной диагностике генезиса почв, являющейся основой проектирования неистощительного землепользования, повышению эффективности использования почв на основе их генезиса с диагностикой водного режима в качестве маркера, а также информативности почвенных карт, обеспечивающей разработку прецизионных систем земледелия. Показана необходимость и значимость учета многообразия свойств почв для широко-масштабных гидротехнических мелиораций.

Ключевые слова: почва, существенные свойства, почвообразование, биота (микробиота), глинистые минералы, водный режим, биоэнергетический потенциал

Для цитирования: Романова, Т. А. Генетическая репрезентативность почв как основа неистощительного землепользования и прецизионной мелиорации / Т. А. Романова, Н. Н. Ивахненко, А. Н. Червань // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2024. – Т. 62, № 3. – С. 200–213. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-3-200-213>

Tatsiana A. Romanova, Nadezhda N. Ivakhnenko, Aliaksandr N. Chervan¹

¹*Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus*

**GENETIC REPRESENTATION OF SOILS AS THE BASIS OF SUSTAINABLE LAND USE
AND PRECISION MELIORATION**

Abstract. A data array (15,000 numbers) for eight soil varieties was examined through the spectrum of properties included in the fundamental research program in genetic soil science. In order to expand the understanding of the essence of soil formation and the nature of soils and the need to clarify the scientific definition of the concepts of “soil”, “soil-forming process” and “hydromorphism”, the properties of soils of autochthonous moisture developed on loess-like loams were studied as the basis for diagnosing their genesis and diversity. The research is based on a large amount of material from many years research into the profile structure, water-and-physical and chemical properties of the most fertile soils of Belarus, formed on loess-like loams of the Minsk ridge. The difference between soils and soil-like bodies has been determined, as well as the role of microbiota as the basis for transformation of rock into soil, models of chemical differentiation of profiles, and bioenergetic potential of soils. The conducted research contributes to deepening the general understanding of soils, water regime as a marker of soil genesis, as well as objective diagnosis of soil genesis, being the basis for the design of sustainable land use,

increasing the efficiency of soil use based on genesis with diagnosis of the water regime as a marker, as well as information content of soil maps, ensuring development of precision arable farming systems. Necessity and importance of taking into account the diversity of soil properties for large-scale hydrotechnical melioration is shown.

Keywords: soil, essential properties, soil formation, biota (microbiota), clay minerals, water regime, bioenergy potential

For citation: Romanova T. A., Ivakhnenko N. N., Chervan A. N. Genetic representation of soils as the basis of sustainable land use and precision melioration. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2024, vol. 62, no. 3, pp. 200–213 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-3-200-213>

Введение. К началу XXI в. интерес к почве оживился – в кругах научной общественности велись дискуссии о необходимости охраны природы и о том, насколько опасно современное природопользование в целом. В работе [1] рассмотрены природоподобные технологии использования ресурсов биосферы, в том числе почв. Проектирование таких технологий требует адекватного представления о природе почв и прогнозирования изменений их свойств под антропогенным воздействием. Судя по публицистической и научной литературе [2–6], ученые по-прежнему обеспокоены проблемами, связанными с почвоведением.

Международным обществом почвоведов утвержден Всемирный день почв (5 декабря) под лозунгом «Почва – основа для жизни». Со временем разные направления изучения почв заметно расширялись, но общее понятие «почва» по большей части остается в его классическом, описательном варианте [7], включая ГОСТ, принятый «Стандартинформом» в 1988 г. и переизданный в 2008 и 2021 гг. Мнение об отсутствии единого определения понятия «почва» почвовед-теоретик И. А. Соколов высказал в 1993 г. [8, с. 9]. Еще один исследователь почв А. Ю. Кудеярова в 2006 г. приходит к выводу: «... сущность почвообразовательного процесса остается до конца неясной» [9, с. 212]. В 2019 г. опубликована статья [6], в которой показано неудовлетворительное состояние учета почв в земельном законодательстве России [10]. Имеющиеся и получаемые в последние годы результаты исследований в разных направлениях накапливаются, но не объединяются в общей теории [11]. Это отмечалось на международных конгрессах: в Монпелье (1998) [12], в Филадельфии (2006) и на съездах Общества почвоведов им. В. В. Докучаева (2008, 2016 и 2020 гг.).

Основоположник школы научного почвоведения и географии почв В. В. Докучаев в далеком 1886 г. определил почву как особое естественно-историческое тело [7]. Ученый в области физической географии и географии почв академик И. П. Герасимов в 1973 г. ввел в теорию почвоведения понятие об элементарных почвенных процессах (ЭПП) [13]. В настоящее время описано около 60 ЭПП, хотя существует мнение, что само понятие ЭПП неоднозначно и часто не отвечает определению «элементарность» [11, с. 318]. Тем не менее парадигма «факторы – процессы – свойства» остается признанным уровнем научных достижений современного почвоведения [14].

В Беларуси с 1960-х годов интерес к почвенным исследованиям носил преимущественно утилитарный характер в связи с развитием широкомасштабной гидромелиорации. Наряду с успехами, на первых ее этапах, в 1970-х гг., обнаружились негативные последствия, проявившиеся в том числе и в виде снижения плодородия почв в зоне территориального влияния объектов осушения. Это потребовало дополнительного изучения природных особенностей почв с разной степенью и характером увлажнения на разных породах. С 1975 по 1995 г. был собран значительный фактологический материал и получено достаточно полное представление не только о потребностях природных почв республики в гидромелиорации и их изменениях под влиянием осушения, но и об их водном режиме как существенном свойстве почвы [15]. Кроме того, разноаспектные характеристики исследования ключевых почвенных разрезов позволили выделить черты, присутствующие вообще – как самой по себе почве, так и конкретным почвам, которые, в свою очередь, могут рассматриваться как природные системы (часть биосферы) и как твердая фаза с совокупностью познаваемых свойств. Это дало возможность отобразить почву через ансамбль существенных свойств и сформулировать развернутое общее представление о ней как о системе взаимосвязанных нелинейных процессов – применить синергетический подход, уточняющий понятие об эмерджентности почвы [16]. Декларативный характер тех, первых, формулировок заменен авторами аргументами, основанными на интерпретации ранее собранных материалов, отно-

сящихся к сущности почв (без рассмотрения достижений в отдельных направлениях). Однако сущность чего бы то ни было сама по себе ненаблюдаема и устанавливается на основе явлений (главных свойств), без которых объект (в нашем случае почва) существовать не может. Совокупности таких явлений (свойств) составляют сущность каждой почвы (почвенного таксона), определяют ее генезис, выделяют из ряда себе подобных и позволяют составить общее представление о почвообразовании и педосфере.

Неистощительное землепользование предполагает разработку природоподобных технологий с учетом сущности почв на основании их свойств. *Цель исследований* – уточнение общих понятий о почвообразовании, почве и педосфере. Новизна результатов обусловлена рассмотрением почвообразования как природного явления, генезиса почвы как функции жизнедеятельности биоты и водного режима. При этом разработаны модели химической дифференциации профиля и оценен биоэнергетический потенциал почв.

До настоящего времени использование почв в земледелии базируется на информации о гранулометрическом составе и в меньшей мере на общих представлениях об увлажненности почвы. Вместе с тем выделение почв из ряда себе подобных надежно обеспечивает только генезис как совокупность существенных свойств. Однако относительно генезиса и номенклатуры почв в современном почвоведении остается много неясностей [8, 10], отмечавшихся также авторами данной статьи. Это послужило поводом к рассмотрению на примере конкретного полигона природной сущности почвы – ее генезиса, а также сущности почвообразования и педосферы в соответствии с общим уровнем развития почвоведения.

Объекты и методы исследований. Объекты исследований – почвы, типичные для условий Беларуси. Полигон репрезентативен для природных условий смешанных лесов и южной тайги гумидной зоны Евразии под естественной растительностью на лессовидных суглинках. Согласно белорусской номенклатуре (рис. 1), все рассмотренные почвы, кроме разреза 84, относятся к категории дерново-подзолистых. Полигон исследований (далее – полигон) представляет собой трансекту длиной 2,1 км и шириной 0,4 км на южном склоне Минской возвышенности на связанных почвообразующих породах – валдайской морене, перекрытой легкими пылеватыми (лессовидными) суглинками, в условиях мягкого умеренно-континентального климата, характеризующегося годовым радиационным балансом 1500–1800 МДж/м² и суммой осадков 560–700 мм [17]. В соответствии с международной классификацией [1] те же почвы следует относить к реферативным почвенным группам: Luvisols, Retisols, Podisols, Gleysols и Antrosols (см. рис. 1). В данной статье далее используется белорусская номенклатура почвенных таксонов, основанная на Классификации почв СССР 1977 г. Вопросы классификации и номенклатуры почв [2] до сих пор актуальны [3, 14]. В Беларуси есть опыт построения естественной классификации почв [16], место в которой определяется их свойствами.

Характеристики исследуемых почв получены с соблюдением требований традиционной методологии и методов анализов, соответствующих ГОСТам, принятым в фундаментальных исследованиях. Системные основы методологии реализованы в представлении о соизмеримости почвенного таксона с экосистемой и представлении целого через его части.

Полевые (натурные) исследования включают описания местоположений почвенных разрезов и ботанического состава растительного покрова, морфологическую характеристику почв с зарисовкой профилей, тестирование на вскипание и оглеение, отбор образцов для определения водно-физических показателей (полевая влажность, объемная масса). Пробы для всех видов анализов отбирались из одного общего образца. Наблюдения за динамикой почвообразования проводились ежемесячно (всего выполнено 30 повторностей) по всем генетическим горизонтам разрезов 83, 73, 74, 94 и 95 (см. рис. 1) – определялись полевая влажность (термостатно-весовым методом), температура и окислительно-восстановительный потенциал – ОВП (Eh), отбирались образцы для анализов на содержание восьми подвижных химических соединений.

В лабораторных условиях определялись статические (консервативные) характеристики почв: гранулометрический состав, валовой химический состав общей массы почвы и ила, глинистые минералы в иле, а также содержание кристаллических и аморфных форм железа, алюминия и кремния, содержание общего азота и органического углерода (гумуса), групповой и фракцион-



Рис. 1. Почвенная трансекта

Fig. 1. Soil transect

ный состав гумуса. Ежемесячно отслеживалась динамика изменения влажности, pH, Eh и содержания P_2O_5 , Al_2O_3 , K_2O , CaO , MgO , FeO , Fe_2O_3 , MnO со статистической обработкой и графическим представлением результатов. Общее количество определений составляет около 15 000 [18], дополнительно были выполнены микроморфологические описания [11] с микроэлектронным фотографированием [19]. Немаловажное значение имело участие в исследованиях сотрудников лаборатории энзимологии почв Института ботаники Национальной академии наук Беларуси (руководитель Т. А. Щербакова). Интерпретация собранных данных в соответствии с целью настоящего сообщения отличается некоторыми особенностями:

1. Объект исследований – педоэкологический ряд (катена), в котором каждый последующий член отличается от предыдущего на одну степень увлажнения, согласно градации, принятой в Беларуси¹.

2. Предмет исследований – существенные (главные) свойства почв.

3. Химическая дифференциация профилей – основа идентификации типов водного режима как маркеров генезиса почв.

4. Водный режим как маркер генетических типов почв.

Результаты исследований и их обсуждение. Описание почв традиционно начинается с условий их формирования (см. рис. 1) и морфологии профилей (рис. 2). На рис. 1 продемонстрирован высотный почвенно-геоботанический профиль, характеризующий положение каждого разреза в ландшафте. На рис. 2 представлены полевые зарисовки почвенных разрезов, воспроизведенные в технике гризайль, которые ранжированы по увлажнению. Можно отметить, что профили полугидроморфных почв (р. 73, 74, 79) отличаются от автоморфных (р. 1, 83) более светлой общей окраской и вертикальными «прожилками», возможно, следами мерзлотных процессов Валдайской эпохи [4]. Почва разреза 94 выделяется темным иллювиально-гумусовым горизонтом – Bh. Разрез 84 характеризуется мощными гумусовым (A_1) и глеевым горизонтами, гидроморфная почва разреза 95 имеет мощный горизонт A_1 (0,4 м).

Морфологическая характеристика почв (см. рис. 2) обнаруживает в вертикальных профилях черты определенной организованности, сохраняющейся во времени и являющейся первым признаком и свойством почвы, противодействующим неорганизованности (накоплению энтропии), что, согласно второму закону термодинамики, возможно только в открытой системе при посту-

¹ Катенарный подход к изучению почв применялся в Беларуси в прошлом веке [20, 21], используется в настоящее время [22], в том числе и за рубежом [23].

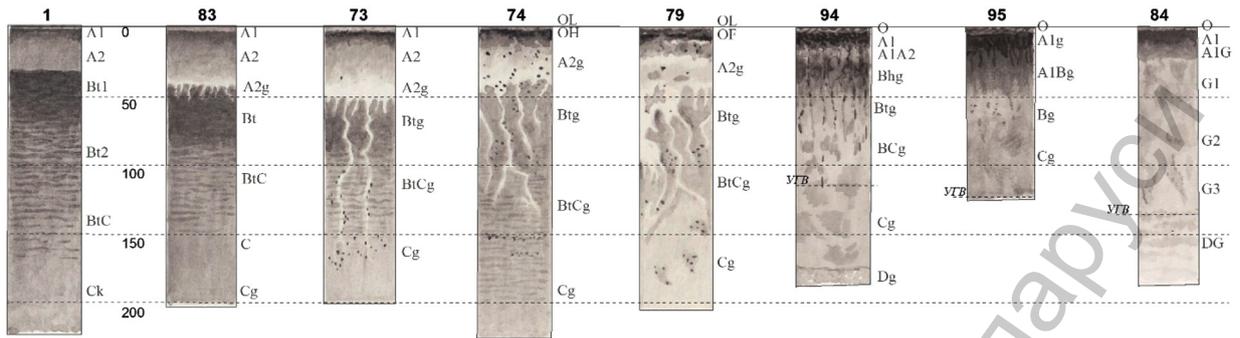


Рис. 2. Педоэкологический ряд и морфология профилей почв суглинистого гранулометрического состава

Fig. 2. Pedoecological raw and morphology of profiles of soils with loamy granulometric compound

плении дополнительной энергии извне. Этим утверждается общая энергообусловленная природа почвы как таковой.

Водно-физические свойства представлены влажностью почв, которая основывается на натурных определениях полевой влажности. Графики на рис. 3 (средние арифметические значения), отображают распределение влаги в профилях почв разной степени увлажнения. Увеличение количества поступающей в почву поверхностной влаги меняет характер ее движения в профиле – тип водного режима (см. рис. 3, р. 94), что далее будет рассмотрено особо.

Распределение влаги в профилях верифицировалось статистическим методом с целью получения информации о подвижности перечисленных ранее оксидов в почвах разной степени увлажнения (см. рис. 3, р. 83, 73, 74), что позволило установить в каждом профиле (см. рис. 3) достоверные глубины промачивания (проникновения гидростатической влаги).

Гранулометрический состав. Почвообразующие породы в районе исследований – лессовидные суглинки – широко распространены в плакорных условиях Беларуси. Их своеобразие

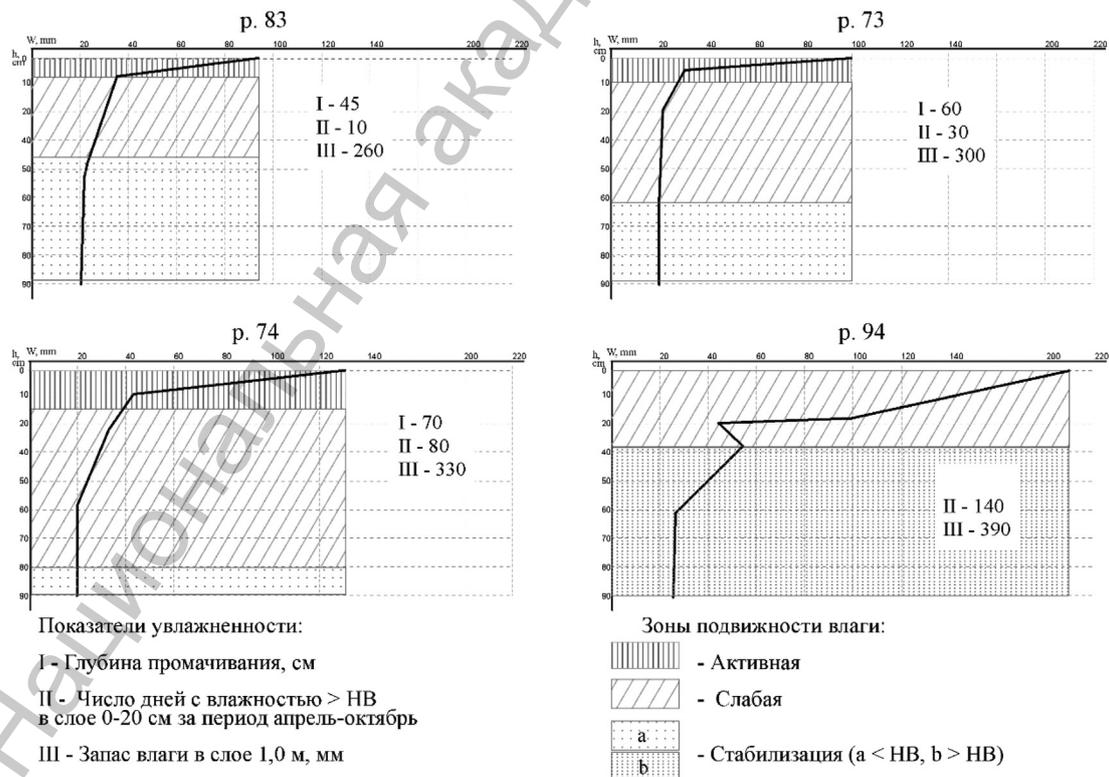


Рис. 3. Типы водного режима

Fig. 3. Types of water regime

заклучаецца в преобладании (50–70 %) пылеватых частиц (0,05–0,01 мм) при практически полном отсутствии крупных фракций (более 1,0 мм) и близком к равному (20–25 %) содержанию частиц мелкого песка (0,25–0,05 мм) и физической глины (менее 0,01 мм), а также тонкой пыли (0,05–0,01 мм) и ила (менее 0,001 мм) – примерно по 10 %. Особенностью гранулометрического состава почв, развивающихся на лессовидных суглинках, принято считать текстурную дифференциацию профилей с аккумуляцией в средней их части физической глины (20–25 %) и ила (12–15 %), образующих горизонт Вt – иллювиально-глинистый.

Горные (почвообразующие) породы в результате физического выветривания измельчаются до частиц диаметром 0,001 мм, но дальнейшая дезинтеграция этих частиц до предколлоидных и коллоидных размерностей осуществляется микроорганизмами [24–26], что свидетельствует о биологической природе инициальной части гранулометрического состава почвы.

Минералогический состав. Местные лессовидные суглинки (горные породы) отличаются простотой минералогического состава: кварц 80–90 %, полевые шпаты 10–15 %, акцессорные минералы – биотит, амфиболы, гранаты и другие (~1 %) [19]. В общей массе почвы преобладают исходные (кварц, полевые шпаты, слюды) и присутствуют некоторые новообразованные минералы. В составе ила характерно наличие новообразованных глинистых (почвенных) минералов: гидрослюда, каолинита, хлорита и мелкодробленого кварца. При этом для автоморфных почв характерны близкие к гидрослюдам глинистые минералы группы вермикулита (р. 1, 83), в полугидроморфных (р. 73, 74, 79, 94) – монтмориллонита. Связь трансформации гидрослюд с гидроморфизмом почв и тот факт, что трансформация прогрессивно нарастает вверх по профилю, свидетельствуют о почвенном происхождении ассоциаций глинистых минералов, об их ответственности гидротермическим условиям формирования каждой почвы.

Большинством исследователей, начиная с В. В. Докучаева и В. В. Вернадского, ведущая роль в трансформациях минералов признана за почвенной биотой, и в первую очередь за микроорганизмами за счет их способности к избирательному поглощению элементов – биофилов [5] с мобилизацией для своей жизнедеятельности энергии Солнца, атмосферы и разрушения минералов [25].

Химический состав. Химический состав почв полигона охарактеризован максимальным числом аналитических показателей. Наиболее информативные использованы в физических (реальное распределение) моделях химической дифференциации профилей. К ним относится содержание общего ила в почвообразующей породе, валовое содержание оснований (CaO и MgO) и полутораоксидов (Fe_2O_3 и Al_2O_3) в общей массе почвы и в иле, а также индекс разложения ила ($SiO_2 : Al_2O_3$) и содержание аморфного железа по О. Тамму (рис. 4). Представленные модели визуализируются кривыми, характер и сочетание которых являются отличительными (диагностическими) признаками каждой почвы как таксона.

Сопоставление вертикального распределения общего ила в почвообразующей породе (с учетом потерь при прокаливании) и в мелкоземной почве (маркер – валовое содержание полутораоксидов) обнаруживает малое различие между химическим составом почвы и породы. Валовой состав почвенного ила, напротив, четко отражает специфику почв, отличающую их от породы. Так, в разрезах 73, 74, 83, несмотря на текстурную неоднородность профилей, химический состав ила (фракция меньше 0,001 мм) и индексы $SiO_2 : Al_2O_3$ в иле практически не изменяются по горизонтам (см. рис. 4). Это может свидетельствовать о лессиваже – внутригоризонтных трансформациях химического состава ила без разложения минералов и без перемещения продуктов в неизменном состоянии [22] или о первичной (литогенной) природе субстрата почвообразования. Почва разреза 94 отличается химически четко дифференцированным профилем с выраженными признаками разложения минералов (ломаная линия $SiO_2 : Al_2O_3$ на рис. 4). Гидроморфизм почв обнаруживается в характере распределения в профилях аморфного железа (см. рис. 4). Сравнение модели (см. рис. 4) с графиками изменений влажности тех же почв (см. рис. 3), нетрудно заметить сходство разрезов 73, 74 и 83 в части распределения влаги и полутораоксидов. Различия, наблюдаемые между почвами этой группы и почвой разреза 94, свидетельствуют об их разной природе. Это позволяет сделать вывод о том, что кривые химической дифференциации профилей могут типизировать и идентифицировать почвы только по результатам анализов независимо от методов их получения.

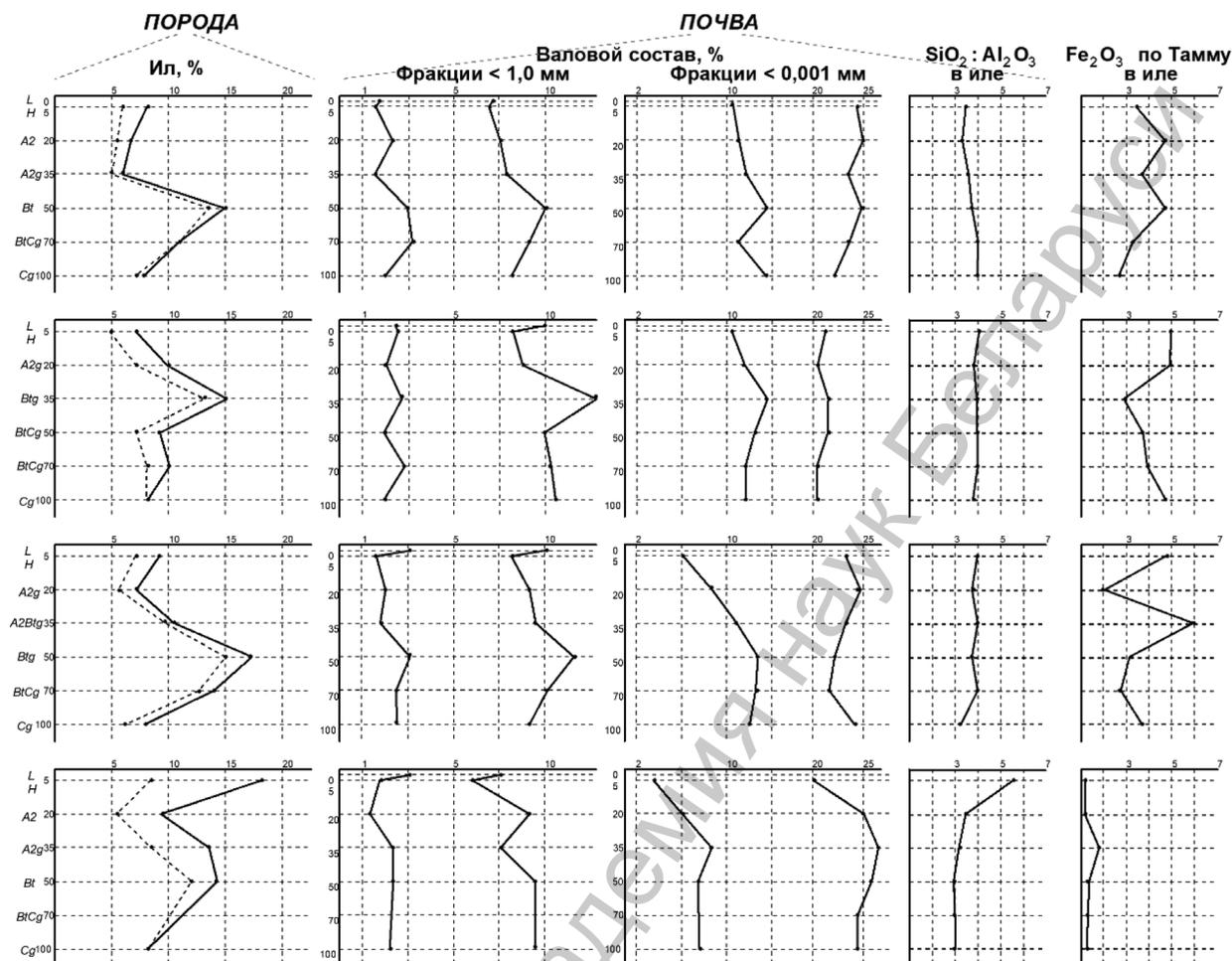


Рис. 4. Модели химической дифференциации профилей почв

Fig. 4. Models of chemical differentiation of soil profiles

Органическое вещество (гумус) является неотъемлемой составляющей почвы как природного образования. Аналитическая характеристика гумуса исследуемых почв представлена в табл. 1. Содержание гумуса (%) и его запасы в слое 0–20 см (т/га) указывают на тесную связь гумусонакопления с гидроморфизмом почв. Содержание гумина свидетельствует, что гумус исследуемых почв отличается низкой растворимостью и высокой степенью минерализации. Групповой – фульватно-гуматный – состав гумуса ($C_r : C_\phi = 1,0–1,2$), приведенный в табл. 1, близок к составу гумуса серых лесных почв [5]. Доля углерода гуминовых кислот в общем углероде почвы находится в пределах 20–30 % (см. табл. 1), что соответствует средним значениям для зоны широколиственных лесов [27].

Все это указывает на связь группового состава гумуса с гидротермическими условиями (климатом) территории исследований. Фракционный состав гуминовых кислот определяется химизмом почвообразующих пород, отразившимся в преобладании фракций, связанных с полурооксидами (C_{r1}), в малом участии фракций, связанных с кальцием (C_{r2}), и довольно высоким (кроме р. 94, 95) участии фракций, связанных с почвенными минералами (C_{r3}) (см. табл. 1). Источником гумуса является биомасса (растения, грибы, животные, микроорганизмы), накапливающаяся и разлагающаяся с участием ферментов [6], обладающих способностью к глубоким преобразованиям «сырьевого ресурса». В гумусе аккумулируется энергия Солнца и Земли, усваиваемая фито- и зоомассой, энергия атмосферы, в виде поступающей в почву влаги, и энергия разрушения минералов [28], что позволяет считать гумус показателем общей энергообеспеченности почвы [5]. По мнению Д. Г. Звягинцева, «зеленые растения вместе с микроорганизмами вовлекают в процесс почвообразования радиационную энергию Солнца» [25, с. 260].

Таблица 1. Аналитическая характеристика органического вещества исследуемых почв

Table 1. Analytical performance of organic matter in soils under study

Показатель	Почвы (номер разреза)							
	1	83	73	74	79	94	95	84
Мощность А1, см	4	4	4	5	6	10	21	17
Содержание гумуса, %	5,9	5,5	7,0	13,5	16,2	19,3	19,0	29,2
Запасы в слое 0–20 см, т/га	31,2	43,0	75,0	105,4	–	152,3	144,0	239,8
Групповой состав	1,4	1,0	1,0	1,2	–	1,0	1,1	1,4
Гумин, %	55,4	44,8	43,6	27,5	32,3	34,7	26,3	33,3
$C_{г1} / C_{об}$, %	–	22,5	22,4	28,4	–	33,0	37,0	38,0
$C_{г1}$ от суммы $C_{г}$, %	–	52	67	54	–	71	59	24
$C_{г2}$ от суммы $C_{г}$, %	–	2	0	6	–	12	12	41
$C_{г3}$ от суммы $C_{г}$, %	–	46	33	40	–	17	29	3

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) характеризует биологическую активность почв с помощью показателя напряженности их химико-биологического состояния (с диапазоном колебаний от 180 до 700 мВ). Важнейшими факторами, влияющими на окислительно-восстановительные условия, являются температура, влажность и биологические процессы. При этом одни авторы отдают предпочтение гидротермическим условиям [14, 29], другие – биологическим процессам [5]. Наблюдения за Eh и биологической активностью почв [30] показали, что наиболее заметна приуроченность активности Eh почвы к осеннему поступлению опада и отпада, к гумусовым горизонтам и подстилкам. Осенью Eh составлял 200 мВ, а во время весеннего переувлажнения – 500 мВ [18].

Водный режим почв занимает особое место в наших исследованиях. Основы учения о водном режиме почв были заложены Г. Н. Высоцким. Продолжил и развил его А. А. Роде [31], который представляет водный режим почв в двух аспектах: 1) движение или застой влаги в профиле – тип водного режима почвы, 2) содержание влаги в профиле – влажность (увлажненность) почвы. Перечень типов водного режима почв гумидной зоны Северного полушария в границах бывшего СССР, предложенный этим ученым [26], до сих пор служит руководством, применяющимся в научных и практических целях [14, с. 89–90]. Собранные в Беларуси материалы (включая описываемые) позволили составить полный перечень типов водного режима почв на базе параметров среднесуточной влагообеспеченности пахотных почв республики [15]. В названиях типов водного режима сохранен принцип, используемый А. А. Роде. Новые названия приведены в табл. 2 и дополнены краткой характеристикой.

Таблица 2. Типы водного режима почв по материалам исследований

Table 2. Types of water regime based on research materials

Тип водного режима	Глубина промачивания, м	Химическая дифференциация профилей	Изменение в профилях индексов $SiO_2 : Al_2O_3$ в иле	Название почвы (№ разреза)
Непромывной	0,4	Не выражена	Не изменяются	Дерново-палево-подзолистая контактно-оглеенная (р. 83)
Застойно-промывной	0,6	Не выражена	Не изменяются	Дерново-подзолистая слабоглееватая (р. 73)
Застойно-промывной	0,7	Очень слабо выражена	Не изменяются	Дерново-подзолистая глееватая (р. 74)
Промывной	1,3	Выражена	Изменяются	Дерново-подзолистая глеевая с иллювиально-гумусовым горизонтом (р. 94)
Застойный	УГВ	Не выражена	Не изменяются	Иловато-глеевая (р. 95)
Выпотной	–	Не выражена	Не изменяются	Дерново-глеевая (р. 84)

Имеющаяся информация позволяет утверждать, что исследованные типы водного режима актуальны для всего разнообразия типов почв южной части гумидной зоны Евразии, кроме алювиальных и антропогенно-преобразованных.

Влажность почвы (содержание в почве влаги [31]) определяется параметрами увлажненности в соответствии с принятой в Беларуси градацией степеней увлажнения [15]. Примером служит глубина промачивания почв (см. рис. 3).

Типы водного режима почв:

– **непромывной** – атрибут автоморфных почв с фронтальным вертикальным проникновением гравитационной воды (промачиванием) до глубины полуметра от дневной поверхности, без химической дифференциации профилей и признаков разложения минералов;

– **застойно-промывной**¹ – характеризует полугидроморфные почвы с преобладающей глубиной промачивания около одного метра, с латеральным движением и эпизодическим застоём внутрипочвенной влаги над зоной стабилизации (см. рис. 3), со слабыми признаками химической дифференциации профилей и без признаков разложения минералов;

– **промывной** – принадлежность полугидроморфных почв, в которых капиллярно-подвешенная поверхностная влага эпизодически, периодически или постоянно (в зависимости от степени увлажнения) смыкается с капиллярно-подпертой, достигая уровня почвенно-грунтовых вод. Химическая дифференциация профилей и признаки разложения минералов выражены отчетливо (см. рис. 4);

– **выпотной** (десуктивно-выпотной) – водный режим полугидроморфных почв, диагностируемый по аккумуляции полутораоксидов и оснований на границах капиллярной каймы над сезонными уровнями почвенно-грунтовых или аллохтонных внутрипочвенных вод.

– **застойный** – формируется в гидроморфных почвах (иловато-глеевые, торфяно-болотные), насыщающихся до полной влагоемкости за счет поступления грунтовых или аккумуляции поверхностных вод.

Рис. 1 вместе с приведенными описаниями демонстрирует роль рельефа как фактора формирования типов водного режима, определяющих разнообразие почв (см. рис. 2). Связь между происхождением (генезисом) почв и геоморфологией местности рассматривает Джон Диксон [1].

Биологическая составляющая почвообразования, кроме ферментативной активности и наблюдений за ОВП, не была предметом наших исследований, но логика вещей в приведенных описаниях и научная литература за последние 50 лет [5, 14, 24, 25] свидетельствуют о первостепенном значении биоты, особенно микроорганизмов, в превращении горных пород в почвы и в поддержании в них равновесных условий.

Д. Г. Звягинцев считает, что «трансформация почвой вещества и энергии в биогеоценозах – одна из важнейших функций почв, определяемых главным образом деятельностью обитающих в почве микроорганизмов и почвенных беспозвоночных животных» [5, с. 125].

Исследования микрофлоры, ферментов и нуклеиновых кислот в разных типах лесов Беларуси определенно указывают на связь между биологическими компонентами и почвами [32]. В материалах съездов Общества почвоведов им. В. В. Докучаева (2008, 2016 и 2020 гг.) вопросы микробиологии почв составляют 10–15 %.

Энергетика почвообразования. Участие в образовании почв энергии Солнца, атмосферы и энергии разрушения минералов рассматривается учеными в [28, 33]. В Беларуси опыт энергетической характеристики почв, развитых на лессовидных суглинках, предпринят для четырех разновидностей почв под естественной растительностью для десяти вариантов пахотных высококультурных почв [19] и для почв в разной степени эродированных [34]. Для всех этих почв по методике, разработанной В. Р. Волобуевым [28], В. А. Ковдой и другими, по формуле А. Е. Ферсмана вычислены запасы полной внутренней энергии, а также энергии, связанной с гумусом, минеральной частью почвы, и энергии, содержащейся в 1 г и в 1 см³ вещества в слое 0–50 см (табл. 3) [19].

¹ Термин «застойно-промывной режим» применен в Беларуси впервые [22]. Ф. Р. Зайдельман использовал его в описаниях модельных опытов с насыщением верхней части почвы влагой, а затем ее сбросом вниз по вертикали. В монографии «Педосфера земли» указано на формирование горизонтальных потоков водного режима почв в соответствии с топографией местности или литологией почвообразующих пород [11, с. 234].

Т а б л и ц а 3 (часть). Запас внутренней энергии в слое 0–50 см почв разрезов 83, 85, 73, 74, 94, 10⁵ ккал/м²T a b l e 3 (fragment). Store of internal energy in layer of 0–50 cm in soils of profiles 83, 85, 73, 74, 94, 10⁵ ccal/m²

Номер разреза	Энергия, связанная с гумусом	Энергия, связанная с минералами, диаметр частиц, мм			Энергия, связанная с водой	Полная внутренняя энергия	Удельная внутренняя энергия почвы	
		<1,00	<0,001	>0,001			1 г	1 см ³
83 (лес)	0,37	262	18	245	3,36	265	47	53
85 (пашня)	0,90	275	29	246	3,55	280	48	56
73	0,6	230	22	208	5,59	236	45	47
74	0,7	274	21	253	4,85	278	45	56
94	1,2	240	18	222	4,22	244	46	49

Энергия почв по Ферсману учитывается через энергию кристаллической решетки химических элементов, входящих в состав минералов, слагающих почву, и оценивается по количеству энергии, необходимой для полного их разрушения, так, что энергию, аккумулированную в почвах и учитываемую по Ферсману, следует оценивать величинами, обратно пропорциональными. Полную внутреннюю энергию (ккал/см²) можно считать общим резервом плодородия почвы – ее *биоэнергетическим потенциалом*. Биоэнергетический потенциал каждой почвы наиболее полно представляет ее индивидуальность [19, 35] – содержит сведения о субстрате, генезисе, природном плодородии и антропогенных изменениях [19, 34]. Пока имеющиеся материалы позволяют судить лишь о возможностях энергетической оценки почв, для конкретных заключений (параметров) необходимы дополнительные исследования.

Фактологические данные, с допустимой полнотой представленные выше, наличие и состояние исходных материалов, характеризующих почвы, используются для получения новых данных, в которых предметом исследований являются главные свойства, определяющие сущность почв. Однако, прежде чем рассматривать сущность почвы, необходимо ответить на вопрос, чем *почва* отличается от *почвоподобного тела* – «непочвы» [36]. Имеет место мнение Е. Д. Дмитриева, что «границы между почвами и непочвами... всегда будут иметь договорной характер» [36, с. 6]. Наши исследования привели к выводу, что границей между *почвой* и *почвоподобным телом* может служить влагообеспеченность как основное условие существования биокосной системы. Почва, по нашим данным, содержит в слое 0–20 см доступную растениям влагу в течение не менее 5 дней за вегетационный период среднего по водности года [15, с. 119].

С философской позиции *почвоподобное тело* – это феномен, о котором известно только то, что он существует, *почва* – это объект с набором наблюдаемых свойств, конкретное естественно-историческое тело. При этом отметим, что общепринятый взгляд на почву как на естественно-историческое тело природы в настоящее время пересматривается, поскольку почва не является в полном смысле слова телом – ее границы, кроме верхней, недостаточно четко выражены. В общем виде почва может определяться скорее как *фрагмент местности, преобразованный действием внешних факторов в синергетическую систему, обладающую плодородием (продукционной способностью)*. В изданном во Франции Почвенном справочнике термин «почва» предлагается заменить на «почвенный покров».

В таком ключе уже энергетически обусловленная *морфология профиля* почвы самой по себе является свойством, без которого она существовать не может. Гранулометрический состав в целом существенным свойством почвы не является, но благодаря наличию сверхтонких фракций имеет признаки материи, переходной от косной к биокосной – от горной породы к почве, хотя в наших исследованиях как главное свойство не рассматривается. Минералогический состав почвенного ила характеризуется новообразованием глинистых минералов и считается главным свойством, отличающим почву от породы. *Органическое вещество (гумус)* представляет сущность почвы по определению. В гумусе связь метаболизма биоты с минералами составляет доминанту почвообразования. Химический состав вещества генетических горизонтов сам по себе в виде конкретных показателей, как и гранулометрический состав, главным свойством почвы не является, но химическая дифференциация профилей служит основой моделей, разграничивающих почвы по совокупности их свойств.

Водный режим, определяющий существование биоты, химической дифференциации профилей (генетическое разнообразие почв, которое относится к главным, если не к самым главным, их свойствам), является маркером генетических типов и степеней гидроморфизма.

Окислительно-восстановительный потенциал – надежный свидетель роли биоты в образовании почвы.

Исследование почв полигона на основе существенных свойств позволяет сделать вывод, что таковыми являются *минералогический состав, гумусообразование и водный режим*.

Основной агент почвообразования – живое население почвы, прежде всего микроорганизмы, мобилизующие биофильные элементы, содержащиеся в минералах, с использованием энергии Солнца, атмосферы и энергии разрушения минералов.

Участие микроорганизмов в новообразовании глинистых минералов и сверхтонких частиц позволяет рассматривать эти явления как одно общее существенное свойство, именуемое *трансформацией минералов*.

Характеристика наблюдаемых свойств и выделение среди них главных приводит к мысли, что *почвообразование* по сути не процесс, а *природное явление, состоящее из множества отдельных процессов, превращающих горные породы в почвы (природная система и твердая фаза)*.

Представление о сущности *педосферы* складывалось на основании обобщения информации из самых разных источников: от монографии «Педосфера земли» [11] до собственных умозаключений. Результатом явился вывод: педосфера по сути – это *часть биосферы с концентрацией микробиоты в субаэральных условиях*.

К вышеизложенному необходимо добавить результаты исследований по энергетике почв. Информация, закодированная в *энергетической характеристике* почвы, в перспективе может быть основой теоретического почвоведения и базой разработки природоподобных технологий землепользования.

При исследовании почвы нельзя не отметить двойственность самого понятия «почва». С одной стороны, почва сама по себе, с наличием существенных свойств, выступает как идеализированная абстракция; с другой – как конкретная почва, одна из многих, с теми же существенными свойствами, но в разных комбинациях, определяющих генезис – единственный надежный критерий, выделяющий почву из ряда себе подобных. Вопросы генезиса не входили в задачу данного исследования, так как сущность генетически определенной почвы и почвы самой по себе основана на одних и тех же существенных свойствах, без которых почва ни в каком виде существовать не может.

Анализ литературы и научного капитала, собранного в Беларуси, в том числе на данном полигоне, позволяет расширить представление о том, что такое почвообразование, почва и педосфера за счет выявления их существенных свойств. Это может способствовать сведению отдельно изучаемых почвенных подсистем в единую почвенную систему [37], актуальную, по крайней мере, для гумидной зоны, в виде следующих формулировок.

Сущность почвообразования (превращение горной породы в почву) как природного явления – мобилизация биотой энергии Солнца, атмосферы и разрушения минералов исходных пород.

Сущность почвы: а) природная система (экосистема) – фрагмент местности, преобразованной действием внеземных и земных факторов в синергетическую систему, обладающую плодородием (продукционной способностью); б) твердая фаза – субстрат, измененный трансформацией минералов, гумусообразованием и водным режимом.

Сущность педосферы – часть биосферы с концентрацией микробиоты в субаэральных условиях.

Вывод. Значение полученных результатов в научном плане состоит в подтверждении на конкретных примерах общих представлений об окружающем мире и о почве как о природной системе с определяющей ролью биоты (микробиоты) и водного режима в виде маркера генезиса почв южной части гумидной зоны Евразии. Впервые типы водного режима идентифицированы на основе модулей химической дифференциации профилей почв. Понятие «почва» рассмотрено в аспекте представления почвы как таковой (самой по себе) и как конкретного объекта: а) геобио-

сферы (природная система – экосистема) и б) биолитосферы (твердая фаза, измененная микробиотой и водным режимом).

Почва через ее генезис характеризует не только состояние поверхностного слоя видоизмененной горной породы, но и представляет собой «прочную основу для жизни» – сложнейшую природную (биокосную) систему взаимодействия внеземных и земных факторов.

В аспекте отношения к почвам как природным ресурсам значимым ориентиром является объективная диагностика генезиса и особенно водный режим (гидроморфизм) почв с перспективной оценки биоэнергетического потенциала как исчерпывающей (цифровой) информации о разнообразии и природном плодородии (продукционной способности) почв. Научные знания о сущности почв – основа разработки природоподобных технологий неистощительного земледользования.

Список использованных источников

1. Dixon, J. C. Pedogenesis with respect to geomorphology / J. C. Dixon // *Treatise on geomorphology: in 14 vol. / ed. J. F. Shroder. – Amsterdam, 2013. – Vol. 4. – P. 27–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00058-0>*
2. Зонн, С. В. Классификационные системы и номенклатура почв / С. В. Зонн // *Почвоведение. – 1994. – № 7. – С. 117–126.*
3. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт / Продовольств. и с.-х. орг. Объед. Наций (FAO); науч. ред. пер.: М. И. Герасимова, П. В. Красильников; пер. И. А. Спиридонова. – Испр. и доп. версия 2015. – Рим: Продовольств. и с.-х. орг. Объед. Наций; Моск. гос. ун-т, 2017. – 203 с. – (Доклады о мировых почвенных ресурсах / FAO; 106).
4. Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв / Рос. акад. наук, Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения; отв. ред. В. Н. Кудяров. – М.: Наука, 2006. – 568 с.
5. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере / Г. В. Добровольский [и др.]; отв. ред. Г. В. Добровольский. – М.: Наука, 2003. – 364 с.
6. Монтгомери, Д. Р. Почва. Эрозия цивилизаций / Д. Р. Монтгомери; пер. под общ. ред. Х. Муминджанова. – Анкара: Продовольств. и с.-х. орг. Объед. Наций, 2015. – 434 с.
7. Докучаев, В. В. Сочинения: в 9 т. / В. В. Докучаев. – М.; Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1949–1961. – Т. 2. – 1950. – 608 с.
8. Соколов, И. А. Теоретические проблемы генетического почвоведения / И. А. Соколов; ред. М. И. Дергачева. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Новосибирск: Гуманитар. технологии, 2004. – 296 с.
9. Кудярова, А. Ю. О природе и механизме трансформации гумусовых веществ: концептуальные и пространственно-временные аспекты / А. Ю. Кудярова // *Почвообразовательные процессы и пространственно-временная организация почв / Рос. акад. наук, Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения; отв. ред. В. Н. Кудяров. – М., 2006. – С. 212–230.*
10. Чуков, С. Н. Категории почвы и земли в современном законодательстве России / С. Н. Чуков, А. С. Яковлев // *Почвоведение. – 2019. – № 7. – С. 891–898. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070025>*
11. Корсунов, В. М. Педосфера земли / В. М. Корсунов, Е. Н. Красеха. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2010. – 471 с.
12. Руэллан, А. О научных основах почвоведения / А. Руэллан // *Почвоведение. – 1997. – № 4. – С. 405–408.*
13. Герасимов, И. П. Элементарные почвенные процессы как основа для генетической диагностики почв / И. П. Герасимов // *Почвоведение. – 1973. – № 5. – С. 102–113.*
14. Кирюшин, В. И. Агрономическое почвоведение / В. И. Кирюшин. – М.: Колос, 2010. – 687 с.
15. Романова, Т. А. Водный режим почв Беларуси / Т. А. Романова; ред.: А. Ф. Черныш, С. А. Касьянчик, Н. Н. Ивахненко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 144 с.
16. Романова, Т. А. Естественная классификация почв Беларуси: новый подход к организации почв / Т. А. Романова, В. Ф. Берков // *Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – Т. 57, № 4. – С. 431–443. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-4-431-443>*
17. География почв Беларуси / Н. В. Клебанович [и др.]. – Минск: БГУ, 2011. – 183 с.
18. Ивахненко, Н. Н. Мелиоративные особенности почв, развитых на лессовидных суглинках Центральной Белоруссии: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.13 / Н. Н. Ивахненко. – Минск, 1988. – 245 л.
19. Сергеев, В. Т. Глинистые минералы почв Беларуси / В. Т. Сергеев, В. Д. Лисица; под ред. А. Ф. Черныша. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 277 с.
20. Романова, Т. А. Почвенные катены Белоруссии / Т. А. Романова // *Почвоведение. – 1974. – № 11. – С. 24–36.*
21. Blume, H.-P. Genese und Ökologie von Hangwasserböden / H.-P. Blume // *Pseudogley and gley: genesis and use of hydromorphic soils: trans. of Commiss. V and VI of the Intern. Soc. Soil Science / ed.: E. Schlichting, U. Schwertmann. – Weinheim, 1973. – P. 187–194.*
22. Романова, Т. А. Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО-WRB / Т. А. Романова; ред. Л. О. Карпачевский. – Минск: [б. и.], 2004. – 427 с.
23. Schaetzl, R. J. Catenas and soils / R. J. Schaetzl // *Treatise on geomorphology: in 14 vol. / ed. J. F. Shroder. – Amsterdam, 2013. – Vol. 4. – P. 145–158. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00074-9>*

24. Аристовская, Т. В. Микробиология процессов почвообразования / Т. В. Аристовская. – Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1988. – 187 с.
25. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
26. Роде, А. А. Почвоведение / А. А. Роде, В. Н. Смирнов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1972. – 480 с.
27. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы: его природа, свойства и методы изучения / М. М. Кононова. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. – 314 с.
28. Волобуев, В. Р. Введение в энергетику почвообразования / В. Р. Волобуев. – М.: Наука, 1974. – 128 с.
29. Кауричев, И. С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв / И. С. Кауричев, Д. С. Орлов. – М.: Колос, 1982. – 247 с.
30. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества: (в естественных и искусственных фитосеннозах) / Т. А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 222 с.
31. Роде, А. А. Водный режим почв и его типы / А. А. Роде // Почвоведение. – 1956. – № 4. – С. 3–23.
32. Ефремов, А. Л. Зонально-типологический анализ биогенных процессов в почвах сосновых лесов Беларуси: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05; 03.00.16 / А. Л. Ефремов; НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники. – Минск, 1999. – 40 с.
33. Runge, E. C. A. Soil development sequences and energy models / E. C. A. Runge // Soil Sci. – 1973. – Vol. 115, № 3. – P. 183–193. <https://doi.org/10.1097/00010694-197303000-00003>
34. Черныш, А. Ф. Новые подходы к количественной оценке эрозионной деградации почв / А. Ф. Черныш, В. Т. Сергеенко, А. Г. Кондаурова // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1 (48). – С. 7–17.
35. Тихонов, С. А. Энергетическая характеристика дерново-подзолистых почв БССР / С. А. Тихонов, Т. А. Романова // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр. / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1987. – Вып. 23. – С. 9–15.
36. Генезис и география почв экстремальных условий: элементы теории и методические подходы / С. В. Горячкин, Н. С. Мергелов, В. О. Таргульян // Почвоведение. – 2019. – № 1. – С. 5–19.
37. Рожков, В. А. Тектологическая концепция классификации и типологии / В. А. Рожков // Современные проблемы почвоведения: науч. тр. / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева; гл. ред. Л. Л. Шишов. – М., 2000. – С. 259–271.

References

1. Dixon J. C. Pedogenesis with respect to geomorphology. *Treatise on geomorphology. Vol. 4.* Amsterdam, 2013, pp. 27–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00058-0>
2. Zonn S. V. Soil classification systems and nomenclature. *Pochvovedenie [Soil Science]*, 1994, no. 7, pp. 117–126 (in Russian).
3. IUSS Working Group WRB. *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. World Soil Resources, report no. 106.* Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. 203 p.
4. Kuderyarov V. N. (ed.). *Soil processes and spatiotemporal organization of soils.* Moscow, Nauka Publ., 2006. 568 p. (in Russian).
5. Dobrovolskii G. V., Bab'eva I. P., Bogatyrev L. G., Vladychenskii A. S., Vasil'evskaya V. D., Vityazev V. G. [et al.]. *Structural and functional role of soils and soil biota in the biosphere.* Moscow, Nauka Publ., 2003. 364 p. (in Russian).
6. Montgomery D. R. *Dirt: the erosion of civilizations.* Berkeley, University of California Press, 2007. 295 p. (in Russian).
7. Dokuchaev V. V. *Essays. Vol. 2.* Moscow, 1950. 608 p. (in Russian).
8. Sokolov I. A. *Theoretical problems of genetic soil science.* Novosibirsk, Gumanitarnye tekhnologii Publ., 2004. 296 p. (in Russian).
9. Kuderyarova A. Yu. On the nature and mechanism of transformation of humic substances: conceptual and spatio-temporal aspects. *Soil processes and spatiotemporal organization of soils.* Moscow, 2006, pp. 212–230 (in Russian).
10. Chukov S. N., Yakovlev A. S. Soil and land categories in the modern legislation of Russia. *Eurasian Soil Science*, 2019, vol. 52, no. 7, pp. 865–870. <https://doi.org/10.1134/s1064229319070020>
11. Korsunov V. M., Krasekha E. N. *Pedoshere of the earth.* Ulan-Ude, Buryat Scientific Centre of Siberian Department of Russian Academy of Sciences, 2010. 471 p. (in Russian).
12. Ruellan A. Some reflections on the basis of soil science. *Pochvovedenie [Soil Science]*, 1997, no. 4, pp. 405–408 (in Russian).
13. Gerasimov I. P. Elementary soil processes as a basis for genetic diagnosis of soils. *Pochvovedenie [Soil Science]*, 1973, no. 5, pp. 102–113 (in Russian).
14. Kiryushin V. I. *Agronomic soil science.* Moscow, Kolos Publ., 2010. 687 p. (in Russian).
15. Romanova T. A. *Water regime of soils of Belarus.* Minsk, IVTs Minfina Publ., 2015. 144 p. (in Russian).
16. Romanova T. A., Berkov V. F. Natural classification of soils in Belarus: new approach to soil operation. *Vestsi Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2019, vol. 57, no. 4, pp. 431–443 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-4-431-443>
17. Klebanovich N. V., Anoshko V. S., Chertko N. K., Koval'chik N. V., Chernysh A. F. *Geography of soils of Belarus.* Minsk, Belarusian State University, 2011. 183 p. (in Russian).
18. Ivakhnenko N. N. *Ameliorative features of soils developed on loess-like loams of Central Byelorussia.* Minsk, 1988. 245 p. (in Russian).

19. Sergeenko V. T., Lisitsa V. D. *Clay minerals of the soils of Belarus*. Minsk, Institute of Soil Science and Agrochemistry, 2011. 277 p. (in Russian).
20. Romanova T. A. Soil catenas of Byelorussia. *Pochvovedenie* [Soil Science], 1974, no. 11, pp. 24–36 (in Russian).
21. Blume H.-P. Genese und Ökologie von Hangwasserböden. *Pseudogley and gley: genesis and use of hydromorphic soils: transactions, commissions V and VI, International Society Soil Science*. Weinheim, 1973, pp. 187–194 (in German).
22. Romanova T. A. *Diagnostics of soils in Belarus and their classification in FAO-WRB-system*. Minsk, 2004. 427 p. (in Russian).
23. Schaeztl R. J. Catenas and soils. *Treatise on geomorphology. Vol. 4*. Amsterdam, 2013, pp. 145–158. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00074-9>
24. Aristovskaya T. V. *Microbiology of soil formation processes*. Leningrad, Nauka Publ, 1988. 187 p. (in Russian).
25. Zvyagintsev D. G., Bab'eva I. P., Zenova G. M. *Soil biology*. 3rd ed. Moscow, Moscow State University, 2005. 445 p. (in Russian).
26. Rode A. A., Smirnov V. N. *Soil science*. 2nd ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1972. 480 p. (in Russian).
27. Kononova M. M. *Soil organic matter*. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 314 p. (in Russian).
28. Volobuev V. R. *Introduction to the energetics of soil formation*. Moscow, Nauka Publ., 1974. 128 p. (in Russian).
29. Kaurichev I. S., Orlov D. S. *Redox processes and their role in soil genesis and fertility*. Moscow, Kolos Publ., 1982. 247 p. (in Russian).
30. Shcherbakova T. A. *Soil enzymatic activity and organic matter transformation: (in natural and artificial phyto-cenoses)*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1983. 222 p. (in Russian).
31. Rode A. A. Soil water regime and its types. *Pochvovedenie* [Soil Science], 1956, no. 4, pp. 3–23 (in Russian).
32. Efremov A. L. *Zonal-typological analysis of biogenic processes in soils of pine forests in Belarus*. Minsk, 1999. 40 p. (in Russian).
33. Runge F. A. Soil development sequences and energy models. *Soil Science*, 1973, vol. 115, no. 3, pp. 183–193. <https://doi.org/10.1097/00010694-197303000-00003>
34. Chernysh A. F., Sergeenko V. T., Kondaurova A. G. New methods of the measurement of soil erosion degradation. *Pochvovedenie i agrokimiya = Soil Science and Agrochemistry*, 2012, no. 1 (48), pp. 7–17 (in Russian).
35. Tikhonov S. A., Romanova T. A. Energy characteristics of soddy-podzolic soils of the BSSR. *Pochvovedenie i agrokimiya: sbornik nauchnykh trudov* [Soil science and agrochemistry: collection of scientific papers]. Minsk, 1987, vol. 23, pp. 9–15 (in Russian).
36. Goryachkin S. V., Mergelov N. S., Targulian V. O. Extreme pedology: elements of theory and methodological approaches. *Eurasian Soil Science*, 2019, vol. 52, no. 1, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1134/s1064229319010046>
37. Rozhkov V. A. Tectological concept of classification and typology. *Sovremennye problemy pochvovedeniya: nauchnye trudy* [Modern problems of soil science: scientific works]. Moscow, 2000, pp. 259–271 (in Russian).

Информация об авторах

Романова Татьяна Александровна – доктор биологических наук, профессор. E-mail: romanova.soil2017@yandex.ru

Ивахненко Надежда Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук. E-mail: nadezhda_iva45@mail.ru

Червань Александр Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой почвоведения и геоинформационных систем, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 16, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ChervanAlex@mail.ru

Information about the authors

Tatsiana A. Romanova – Dr. Sc. (Biology), Professor. E-mail: romanova.soil2017@yandex.ru

Nadezhda N. Ivakhnenko – Ph. D. (Agriculture). E-mail: nadezhda_iva45@mail.ru

Aliaksandr N. Chervan – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor, Head of Department of Soil Science and Geo-information Systems, Belarusian State University (16, Lenin-gradskaya Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ChervanAlex@mail.ru