



СПЕЦИФИКА ГУМУСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ЧЕРНОЗЁМОВ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ РЕКИ ОБИ В ПРЕДЕЛАХ ПРИОБСКОГО ПЛАТО

© 2023 Е. Г. Захарова ¹, М. И. Дергачева ¹, Е. В. Каллас ², Н. Л. Бажина ¹

¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: zakharova@issa-siberia.ru

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Россия. E-mail: ekallas70@gmail.com

Цель исследования: выявить особенности гумусовых профилей чернозёмов левобережной части реки Оби в пределах Приобского плато (юг Западной Сибири) и причины, обусловившие их разнообразие.

Место и время проведения. Юг Западной Сибири (Топчихинский район Алтайского края), северо-восточная часть Приобского плато, степная зона Предалтайской провинции Кулундинско-Алейского округа, ключевой участок «Володарка» на восточной окраине Порозихинско-Алейского увала (52°41'42" с. ш. и 83°38' в. д). Отбор образцов проводился в августе.

Методология. В основе получения и интерпретации материалов лежат принципы и правила системного подхода и экологии почв. Объектами исследования служили приуроченные к разным частям ключевого участка Володарка чернозёмы южные и обыкновенные (по классификации почв 1977 г.; эти классификационные названия почв используются по тексту; согласно новой Классификации почв России (2004), почвы относятся к подтипу миграционно-мицелярных и текстурно-карбонатных; согласно WRB (2022) они находятся в реферативной почвенной группе Chernozems с квалификаторами calcic и siltic. Характеристики гумусовых профилей получены традиционными методами. Все приёмы аналитического и инструментального изучения гумуса и отдельных его компонентов были идентичны. К методическим особенностям исследований относится подробный отбор образцов (каждые 5–10 см или менее в пределах визуальных границ горизонтов) в позднелетний период и отсутствие жёстких приёмов очистки препаратов от минеральных примесей. В настоящей работе понятия «гумус» и «система гумусовых веществ» почв используются как синонимы

Основные результаты. Гумусовые профили чернозёмов изученной территории, функционирующие в настоящее время в одних и тех же условиях, имеют существенное варьирование характеристик, представляя ряд от типичных для таких почв вариантов (когда по сочетанию признаков элементарных гумусообразовательных процессов – ЭГП – четко выделяется верхняя часть с гумификационно-трансформационным типом их структуры и нижняя – с трансформационно-миграционным типом сочетания ЭГП), до разной степени структурной их сложности (когда выделяется несколько частей с разными количественными соотношениями параметров гумусовых веществ при преобладании процессов их самовосстановления на фоне других ЭГП). Основные характеристики изученных погребённых палеопочв лежат в пределах, свойственных почвам, формирующимся в оптимальных для гумусообразования температурных условиях, но разных условиях увлажнения.

Заключение. Существенное различие качественных и количественных характеристик гумусовых профилей чернозёмов левобережья реки Оби в пределах Приобского плато обусловлено как сложной историей развития территории, так и разным уровнем возможностей самовосстановления природной открытой саморегулируемой системы гумусовых веществ, зависящих от экологических условий в период её формирования. В процессе развития территории разные горизонты среднелеистоценовых почв в разных местах выходили на поверхность, и поэтому обнаруживаются в пределах толщи, обычной для сформированных полнопрофильных современных почв. Преимуществом применения гумусовых профилей при анализе состояния почв и формирующей их природной среды является возможность проведения более детального анализа изменчивости свойств, использования отложений и почв разной сохранности, выявления варьирования параметров природной среды даже в случае очень коротких эпизодов смены одного или нескольких факторов почвообразования или отдельных их характеристик, которые по продолжительности меньше характерного времени, необходимого для формирования морфологической выраженности признака. Представленные в работе материалы и их интерпретация показывают, что получаемая информация о состоянии почв и природной среды на основе изучения гумусовых профилей почв, характеристиками которых могут выступать результаты изучения состава и свойств гумуса, не потеряла своей значимости и может использоваться при решении широкого круга проблем почвоведения, в том числе при мониторинге состояния почв, а также обосновании прогнозов их поведения при изменении экологических условий функционирования.

Ключевые слова: гумусовый профиль; степные почвы; элементарные гумусообразовательные процессы; параметры гумусовых веществ; причины варьирования; Приобское Плато.

Цитирование: Захарова Е.Г., Дергачева М.И., Каллас Е.В., Бажина Н.Л. Специфика гумусовых профилей чернозёмов левобережья реки Оби в пределах Приобского плато // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. e214. DOI: [10.31251/pos.v6i2.214](https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.214).

ВВЕДЕНИЕ

Решение одной из актуальных проблем современности – поведения почв в меняющейся природной обстановке – предполагает изучение не только почвенного покрова, почвенных выделов, почвенных профилей, но и отдельных почвенных компонентов и их свойств, которые играют значительную роль в создании и поддержании плодородия почв, в регуляции устойчивости биосферы, а также формировании памяти почв. Кроме того, последняя даёт возможность использовать почвы и их компоненты в качестве основы при реконструкции природной среды прошлого локальных и более масштабных территорий.

Почва, согласно активно развиваемой в течение ближайших десятилетий новейшей концепции теоретического почвоведения о памяти почв (Соколов, Таргульян, 1976; Память ..., 2008; Лойко и др., 2011; Таргульян, Бронникова, 2019; Monger, Rachal, 2013; Janzen, 2016; Lapsansky et al., 2016; Aitkenhead et al., 2019; и др.), является таким объектом биосферы, который интегрально отражает и сохраняет во времени в своей структуре, составе и свойствах действие всей совокупности природных факторов. То есть по отношению к природной среде почва характеризуется соответственно сенсорностью и рефлекторностью (Соколов, Таргульян, 1977). Однако, И.А. Соколов (2004, с. 39) подчеркивал, что «можно рассматривать не только рефлекторность почв в целом, но и рефлекторность отдельных свойств, например, климаторефлекторность гумуса...».

В настоящее время почвы, отдельные их компоненты и свойства, а также разнообразные новообразования и включения, широко используются при характеристике природной среды, выявлении ее ретроспективных трендов и оценке поведения при меняющейся климатической обстановке как в отечественной науке (Дергачева и др., 2000, 2006; Якименко и др., 2007; Память..., 2008; Седов и др., 2010; Палеопочвы..., 2012; Хохлова и др., 2015; Бронникова и др., 2018; Дергачева, 2018; Sycheva, Khokhlova, 2016; и др.), так и в зарубежной (Zhang et al., 2006; Holmes et al., 2007; Zech, Glaser, 2008; Zech et al., 2011; Schindler, Hochella, 2015; Mazurek et al., 2016; and many others).

Одним из носителей памяти почв является **система гумусовых веществ (СГВ)**, обладающая (как и почва в целом) сенсорностью и рефлекторностью, и фиксирующая все изменения, происходящие в природной среде, в своём составе, конфигурации и свойствах, а гумусовый профиль почв представляет собой своеобразный «архив», хранящий закодированную информацию о природной среде разных этапов образования почвы, что в конечном итоге даёт представление об эволюции условий формирования последней за период ее образования (Дергачева, 2018). Здесь следует подчеркнуть, что речь идёт о гумусовых профилях как совокупности химически и генетически сопряжённых однородных слоёв (зон) почвы, каждая из которых имеет специфичное сочетание и степень проявления **элементарных гумусообразовательных процессов (ЭГП)**, определяющихся сменой биоклиматических условий в период формирования почвы и соответственно сказывающихся на характере признаков состава, структурных особенностей и свойств гумусовой составляющей почв (Дергачева, 1984). Однородные слои (зоны) практически всегда лежат в пределах морфологически выделяемых горизонтов, но не всегда совпадают с ними. Наиболее вероятно такое совпадение в моногенетичных профилях. В полигенетичных почвах в пределах любого горизонта могут быть выделены один-три и более слоёв (зон), различающихся по сочетанию и интенсивности ЭГП, обусловленных сменой биоклиматической обстановки в течение их формирования. Характеристиками гумусового профиля могут служить любые полнопрофильные показатели системы гумусовых веществ в целом или отдельных их компонентов, например гуминовых кислот, которые могут выступать в качестве маркеров ЭГП. Обязательным условием изучения гумусовых профилей является сплошное подробное вертикальное опробование почвенной толщи с шагом 5–10 см или меньше (в зависимости от решаемых задач) с учетом визуальных границ горизонтов. Исключения составляют профили, нарушенные какими-либо экзогенными процессами, отбор образцов из которых требует индивидуального подхода. Изложенные выше положения и выделенные ЭГП подробно рассмотрены ранее (Дергачева, 1984).

В современной почвенной литературе термин «гумусовый профиль» встречается относительно часто, однако разные авторы вкладывают в это словосочетание разные понятийные объёмы, в большинстве случаев, не приводя их определения (До Дин Шан, 1977; Демкин и др., 1996; Безносиков, Лодыгин, 2012; Черепанова, Самофалова, 2015; Ковалёва и др., 2021; Бараннык, 2016; Pesochina, 2008; Kosaka et al., 2012; и др.). Часто приходится оценивать понятийный объём термина по смыслу статьи. Одни авторы рассматривают гумусовый профиль как сочетание в почвенной толще горизонтов накопления гумуса с индексом А (например, Чендев и др., 2015; Назарова, Попова, 2015; Климова, Дюкарев, 2018; Kovalyova et al., 2021), другие трактуют его как характер распределения общего гумуса и/или его состава во всем профиле почвы (например, Александрова, 1972; Арчегова, 1974; Пономарева, 1974; Орлова, 1979; Песочина, 2017; Смоленцева, 2018; и др.). В случае последнего подхода одни авторы анализируют усреднённые почвенные образцы из морфологически выделяемых горизонтов (как это принято в географии почв) (например, Золотарева, Демкин, 2013; Хавкина, 2004; и др.), другие – в сплошной колонке образцов, отобранных без пробелов на всю глубину профиля (Арчегова, 1974; Пономарева, 1974; Пономарева, Плотникова, 1980; и др.). Также есть работы, в которых понятие гумусового профиля основано на характеристике типов гумуса по Мюллеру (Müller, 1887), то есть на сравнительном постоянстве морфологических признаков и их форм (мор, мулль, модер), и относятся исключительно к лесным почвам (например, Дюшофур, 1970; Чертов, Разумовский, 1980; Чертов, Надпорожская, 2018; Bernier, 1998; Kounda-Kiki et al., 2006; Wachendorf et al., 2023; и др.).

Среди современных публикаций также много работ, в которых гумусовые профили рассматриваются и интерпретируются в рамках концепции, изложенной нами выше и используемой в настоящем исследовании (например, Дергачева, 1990; Каллас, 2004; Свалова, 2005; Каллас, Дергачева, 2007, 2011; Дергачева и др., 2010; Никитич, 2012; Очур, 2012; Учаев, Некрасова, 2012; Новокрещенных, Козырева, 2015, Черепанова, Самофалова, 2015; Некрасова и др., 2016; Каллас и др., 2020; и др.)

Такое разнообразие подходов к понятию гумусового профиля почв и многообразие приёмов их исследования затрудняет проведение необходимых сравнений опубликованных материалов, существенно сказывается на возможностях их обобщения, усложняет их интерпретацию и обуславливает отсутствие полноценных сведений об их специфике для разномасштабных территорий, а также их изменчивости в контексте меняющейся при естественных условиях и антропогенном влиянии природной среды.

Исследование гумусовых профилей с изложенных выше позиций (Дергачева, 1984) с соблюдением стандартности всех методик и приёмов их изучения позволяет выявить трансформации их аналитических количественных параметров в процессе изменения внешней по отношению к почвам природной обстановки, давать более точную диагностику биоклиматических условий формирования и функционирования почв на уровне локальных территорий, а также прогнозировать поведение почв в ближайшем и отдалённом будущем.

Оценка разнообразия гумусовых профилей почв, обусловленного, с одной стороны, общепланетарными изменениями климата и историей развития конкретной территории регионального уровня, а с другой – влиянием местных условий локальных площадей с различающимися экологическими параметрами природной среды, в настоящей работе рассматривается на примере территории, где наблюдается очень большое варьирование морфологических свойств чернозёмов, составляющих основу ее почвенного покрова.

Цель настоящего исследования – выявить особенности гумусовых профилей чернозёмов левобережной части реки Оби в пределах Приобского плато (юг Западной Сибири) и причины, обусловившие их разнообразие.

ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Район исследований приурочен к степной зоне Предалтайской провинции Кулундинско-Алейского округа с преобладанием в почвенном покрове чернозёмов обыкновенных и южных (Карта ..., 2013). Первичное изучение морфологических свойств почв на территории Приобского плато позволило обнаружить, что некоторые его районы характеризуются повышенным варьированием мощности, интенсивности и оттенков окраски, а также других морфологических свойств гумусово-аккумулятивных горизонтов и в целом почвенных профилей целинных чернозёмов, при котором на расстоянии 20–100 м мощность горизонта А₁ может изменяться в пределах от 8–10 см до 40–50 см, и более (Захарова, 2011; Дергачева, Пономарев, 2014).

Учитывая большую ценность этого типа почв, выполняющих в степных экосистемах функцию регуляции их устойчивого состояния, обеспечения плодородия и сохранности информации об условиях формирования, а также сохранившиеся очень небольшие площади их целинных вариантов, на юге Западной Сибири (Топчихинский район Алтайского края) в северо-восточной части Приобского плато вдоль крутого левого берега реки Оби был выделен **ключевой участок «Володарка»**, получивший наименование по находящемуся к северу от него селу с одноименным названием. Этот ключевой участок расположен на восточной окраине Порозихинско-Алейского увала в координатах: 52°41–42' с. ш. и 83°38' в. д. и имеет перепад высот в пределах 140–200 м над уровнем моря. Он охватывает две локальные рядом лежащие территории, примерно по 2 км² каждая, на одной из которых почвы имеют незначительное варьирование морфологических признаков, обусловленное в основном различиями мезо- и микрорельефа, а на другой – существенное варьирование морфологии почв, не связанное с положением их в рельефе (рис. 1).

Климат ключевого участка «Володарка» относится к континентальному типу с коротким и жарким летом, среднегодовой температурой воздуха +1,4 °С, длительным периодом с активными температурами >10 °С, сумма которых составляет около 2500°, невысоким количеством выпадающих за год осадков (около 450 мм в год), высокой испаряемостью – до 560 мм, невысокой влажностью воздуха, длительным морозным зимним периодом, коротким и жарким – летним, а также большими колебаниями температур. Более высокое увлажнение и некоторая сглаженность колебаний температур на ключевом участке по сравнению с остальной территорией Приобского плато обуславливается рекой Обь, которая оказывает здесь смягчающее влияние на климат.

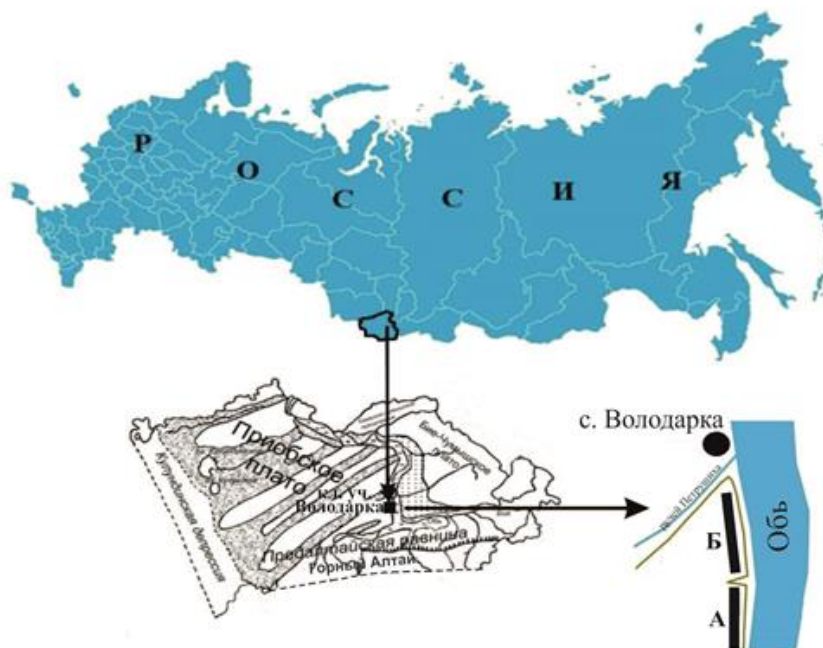


Рисунок 1. Карта-схема местоположения Приобского плато и ключевого участка «Володарка» в Алтайском крае юга Западной Сибири, а также его частей: южного (А) – с незначительным варьированием морфологических признаков почв и северного (Б) – с существенным варьированием.

Первая – южная часть (А) ключевого участка (см. рис. 1) характеризуется преобладанием плакорного рельефа в сочетании с пологими склонами, не превышающими 4–5°, мощных лёссовидных суглинков, выступающих здесь в качестве почвообразующей породы, ковыльно-разнотравных и разнотравно-злаковых сообществ, а также сочетанием распространения преобладающих в почвенном покрове чернозёмов обыкновенных и встречающихся реже чернозёмов южных (по классификации почв 1977 г.). Эти классификационные названия почв будут использоваться в дальнейшем по тексту, поскольку в процессе обсуждения приводимых ниже материалов изучения гумусовых профилей почв для сравнений и/или обобщений были необходимы литературные данные, полученные в течение предыдущих лет, когда повсеместно использовалась классификация и диагностика почв СССР (1977). Отметим также, что согласно новой классификации почв России (2004) рассматриваемые в статье чернозёмы относятся к подтипу миграционно-мицелярных и текстурно-карбонатных, а согласно Мировой реферативной базе почвенных ресурсов IUSS Working Group WRB (2022), они находятся в реферативной почвенной

группе Chernozems с квалификаторами calcic и siltic. Классификация палеопочв не разработана, поэтому их названия будут обозначаться как аналоги современных почв, с которыми в исследованных погребённых почвах совпадают или имеют большую близость критерии органоминеральных параметров, согласно В.Р. Волобуеву (1973).

В южной части заложено более 20 полнопрофильных разрезов, а также серия полуям и прикопок. Вскрытые разрезы почвы сформированы на мощных лёссовых отложениях (рис. 2 А). Почвенный покров отличается здесь невысокой комплексностью и отсутствием влияния грунтовых вод, которые залегают глубже 10 м. Абсолютно преобладают чернозёмы обыкновенные, которые имеют типичный для этих почв профиль: наличие всего комплекса горизонтов, вскипание от 10% HCl с поверхности или в верхней трети гумусово-аккумулятивного горизонта, наличие гипса в почвообразующей породе (иногда – в нижней части профиля), а также карбонатов в виде псевдомицелия и общей интенсивной пропитки. Все горизонты профилей имеют, как правило, суглинистый состав. Мощность гумусированной толщи (горизонты А+АВ) колеблется в пределах 30–50 см, составляя в среднем $40 \pm 4,5$ см. Все профили имеют единую формулу: $A_d - A_{Ca} - AB_{Ca} - B_{Ca} - BC_{Ca} - C_{Ca}$.

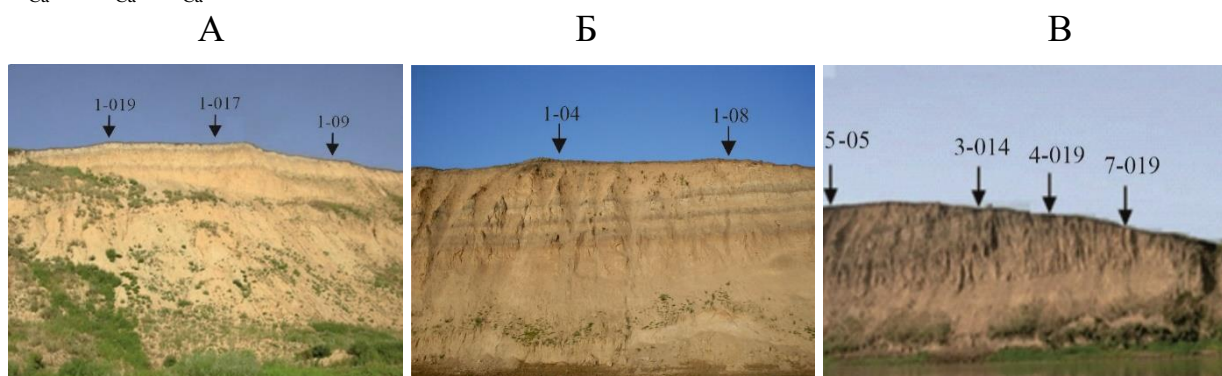


Рисунок 2. Вид со стороны берегового обнажения р. Оби территорий расположения разрезов на ключевом участке «Володарка», где разрезами вскрывались почвы без признаков древнего почвообразования (А и Б) и почвы с признаками древнего почвообразования в пределах профиля (В) (фото М.И. Дергачевой).

Вторая часть территории ключевого участка (в дальнейшем по тексту – северная часть, Б), где преобладают чернозёмы южные, а чернозёмы обыкновенные встречаются реже, отличается наличием равнинного рельефа (рис. 2 Б) и склона, представляющего собой серию уступов с выровненным или пологим мезорельефом (рис. 2 В). Растительность характеризуется настолько большим разнообразием, что на протяжении 50–100 м (в отдельных случаях меньше) растительные ассоциации могут кардинально меняться с типчаково-полынной, например, на тонконогово-полынную или разнотравно-злаковую. Здесь выявлено очень существенное варьирование мощности гумусового горизонта и резкое различие в морфологических свойствах всех горизонтов профилей почв: внутригоризонтная изменчивость окраски или ее оттенков, текстуры, структуры, плотности, форм карбонатов, глубины и интенсивности вскипания от 10% HCl, присутствие в профиле на разной глубине ещё одного-двух гумусированных горизонтов и др. (Захарова, 2011; Дергачева, Пономарев, 2014; Дергачева и др., 2020). У ряда почв (рис. 2 Б) профиль имеет типичную для чернозёмов формулу: $A_d - A_{Ca} - AB_{Ca} - B_{Ca} - C_{Ca}$, хотя все они отличаются меньшей мощностью горизонта А+АВ (36 ± 2 см), чем в почвах южной части ключевого участка.

В северной части ключевого участка (рис. 2 В) также вскрыты полнопрофильными разрезами, полуямами и прикопками почвы (около 25 объектов), морфологические характеристики которых разнообразны, что проявляется в неоднозначности формулы профилей. Так, обобщение имеющихся описаний позволило выявить, что здесь мощность толщи с гумусовой пропиткой (горизонты А+АВ) колеблется от 8–10 см до 50–60 см (в редких случаях больше). Есть разрезы, вскрывающие почвы с мощным гумусовым горизонтом, который даже визуально требует разделения его на подгоризонты А', А'', а иногда и А''', и тогда формула профиля может приобретать следующий вид: $A_d - A'_{Ca} - A''_{Ca} - (A'''_{Ca}) - AB_{Ca} - B_{Ca} - BC_{Ca} - C_{Ca}$. В ряде случаев глубже горизонтов B_{Ca} или BC_{Ca} четко выделяется погребённый гумусовый горизонт [А], который лежит соответственно на горизонте [BC] или лёссовидной породе. При этом современный гумусовый горизонт в отдельных разрезах не подразделяется на подгоризонты, иногда отсутствует горизонт АВ, а горизонт [А] в разных

случаях имеет разную мощность и визуально представлять собой один – три подгоризонта. Формула профиля при этом варьирует, но его можно описать обобщённо следующим образом (в круглых скобках указаны горизонты, присутствующие только в некоторых разрезах, в квадратных – горизонты палеопочв; обращаем внимание, что, в отличие от современных, обозначение номера палеопочв по правилам производится снизу вверх от более древней по возрасту к более молодой): $Ad_{Ca} - A_{Ca} (A'_{Ca} - A''_{Ca}) - (AB_{Ca}) - B_{Ca} - BC_{Ca} - [A (A'', A', AB')] - [BC_{Ca}] [C_{Ca}]$. Самые сложные и существенно различающиеся формулы почвенных профилей имеют почвы, в которых обнаруживается присутствие совокупности разных горизонтов древних почв, например:

$$Ad_{Ca} - A_{Ca} - AB_{Ca} - B_{Ca} - BC_{Ca} - [A_{Ca}]'' - [AB_{Ca}]'' - [A_{Ca}]' - [AB_{Ca}]' - [BC_{Ca}]' - [C_{Ca}]';$$

$$Ad_{Ca} - A'_{Ca} - A''_{Ca} - BC_{Ca} - [A_{Ca}]'' - [AB_{Ca}]'' - [A_{Ca}]' - [AB_{Ca}]' - [BC_{Ca}]' - [C_{Ca}]'$$

$$Ad_{Ca} - A_{Ca} - [BC_{Ca}]''' - [BA_{Ca}] - [A_{Ca}]'' - [AB_{Ca}]'' - [A_{Ca}]' - [AB_{Ca}]' - [BC_{Ca}]' - [C_{Ca}]'.$$

Во многих разрезах современный гумусовый горизонт лежит, как и в последнем случае, на палеогоризонте $[BC_{Ca}]$, глубже которого выявляются мощные гумусированные толщи.

Для анализа специфики гумусовых профилей почв в настоящей работе обсуждаются представители наиболее часто встречающихся вариантов, практически охватывающих основное их разнообразие на территории ключевого участка.

Таким образом, *объектами настоящего исследования* служат чернозёмы левобережья реки Оби в пределах Приобского плато, приуроченные к разным частям ключевого участка Володарка, а *предметом* – специфика их гумусовых профилей.

Методы, использованные в настоящей работе, являются традиционными: содержание общего органического углерода определялось окислением бихроматом калия при нагревании до 150°C (Тюрин, 1937), состав гумуса – по методике В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой в модификации 1968 года (Пономарева, Плотникова, 1980). Все приёмы аналитического и инструментального изучения гумуса и отдельных его компонентов были также идентичны. К методическим особенностям исследований относится подробный отбор образцов (каждые 5–10 см или менее в пределах визуальных границ горизонтов), проводившийся в разные годы в позднелетний период, как рекомендовано ранее (Дергачева, 1984), а также отсутствие жёстких приёмов очистки препаратов от минеральных примесей с использованием смеси HF и HCl или 6 н. HCl, которые существенно меняют их состав и свойства (Тихова и др., 2008). Визуализация результатов исследования состава гумуса почв осуществлялась с помощью гумусовых профилограмм, которые строились по специальной программе в Origin, согласно принципу, предложенному одним из авторов (Дергачева, 1984). Изображения гумусовых профилей удобочитаемы, наглядно показывают особенности изменений отдельных характеристик, а их сравнение облегчает выявление между ними сходства и различий. Статистическая обработка данных проводилась согласно рекомендациям Е.А. Дмитриева (1995), с использованием программы Statistica-8.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Материалы изучения гумусовых профилей целинных чернозёмов северо-восточной части Приобского плато представляют, прежде всего, интерес для исследователей, изучающих состояние и эволюцию почв и природной среды их формирования (в том числе климата) при современной интенсивности прессинга на экосистемы, разрабатывающих прогнозы поведения компонентов последних в ближайшем и отдалённом будущем, а также осуществляющих мониторинг земель, которые испытывают влияние антропогенных нагрузок, с целью создания и поддержания устойчивого их плодородия.

Анализ и сравнение гумусовых профилограмм почв, сформированных в разных частях обсуждаемого ключевого участка Володарка, имеющих аналогичные морфологические свойства и, соответственно, одинаковые формулы профиля, показал, что они выделяются близкими характеристиками распределения всех компонентов системы гумусовых веществ, но различаются количественными величинами отдельных показателей (рис. 3, 4). Так, гумусовые профили черноземных почв, расположенных в южной части ключевого участка и вскрытых разрезами 1-09, 1-017, 1-019 (рис. 3 А–В), а также распространённых в северной его части (разрезы 1-04, 1-08, рис. 4 А–Б) характеризуются аккумулятивным характером распределения общего органического углерода (рис. 3 а, 4 а) и наличием двух различающихся частей профиля: верхней – с преобладанием гуминовых кислот, значительной долей гуматов кальция в них, аккумуляцией основной массы бурых гуминовых кислот, выделяемых 0,1 н. NaOH при непосредственной их экстракции без предварительного декальцирования почв, с незначительной долей фульвокислот, а также

равномерным (или слабо флуктуирующим) содержанием их наиболее подвижных форм, и нижней – с равномерно-убывающим характером распределения гуминовых кислот и их преобладающей фракции – гуматов кальция, отсутствием бурых ГК, постепенно увеличивающимся количеством фульвокислот с возрастанием в них доли наиболее подвижной фракции 1а (рис. 3 б-з, 4 б-з).

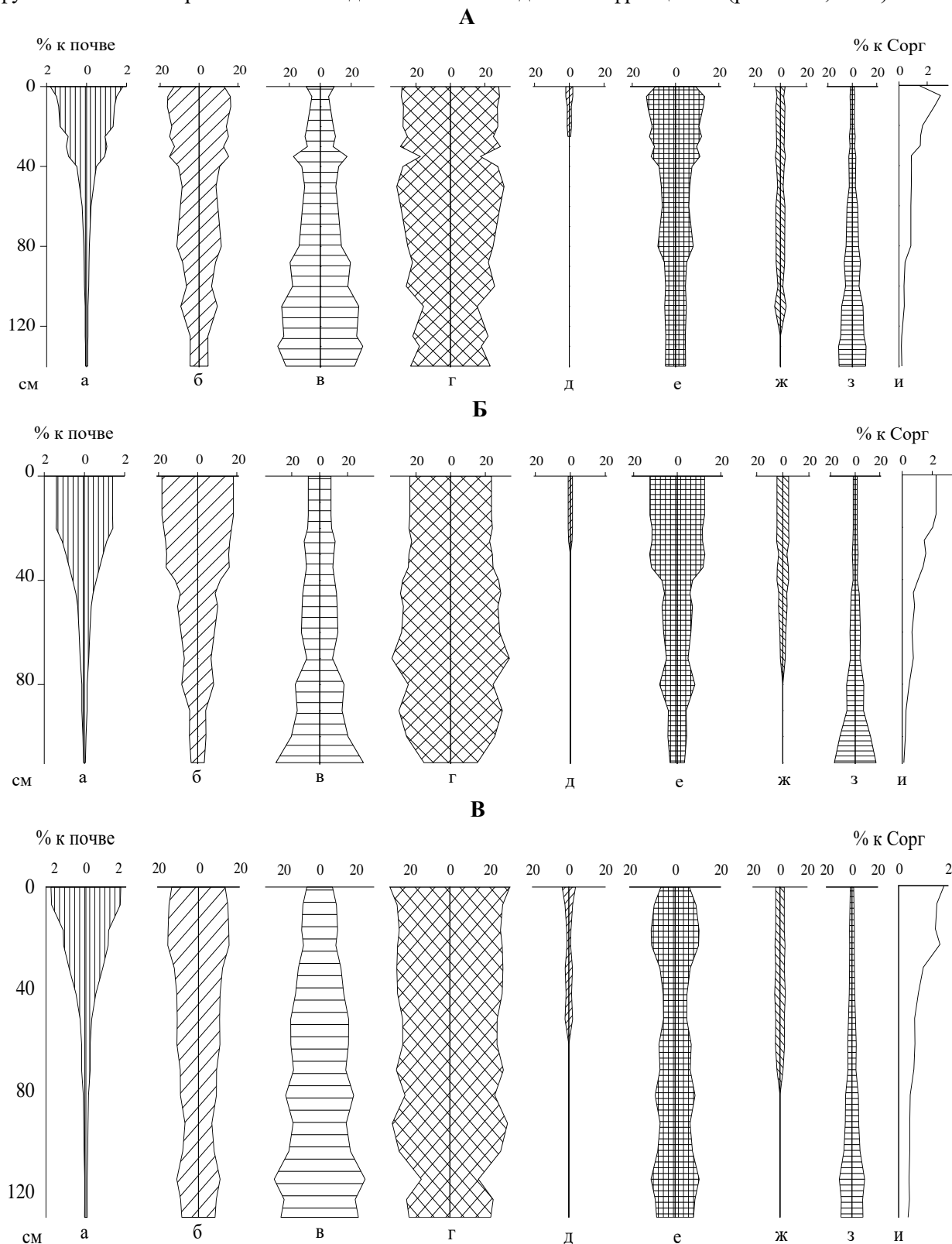


Рисунок 3. Гумусовые профили чернозёмов южной части ключевого участка Володарка: А – р. 1-017; Б – р. 1-19; В – р. 1-09. Условные обозначения: а – содержание органического углерода, % к почве; содержание групп и фракций гумусовых веществ, % к общему углероду: б – гуминовые кислоты (ГК), в – фульвокислоты (ФК), г – негидролизующие формы гумуса, д – ГК фракции 1, е – ГК фракции 2, ж – ГК фракции 3, з – ФК фракции 1а, и – Сгк:Сфк.

Содержание негидролизующих форм гумусовых веществ во всех горизонтах занимает наибольшую долю в составе гумуса во всех профилях почв, о чем дают наглядное представление приводимые в качестве примеров профилиграммы типичных представителей описываемых почв (рис. 3 г, 4 г). Тип гумуса также изменяется по профилю от гуматного ($S_{ГК}:S_{ФК}$ около или больше 2,0) через фульватно-гуматный и гуматно-фульватный (когда в разных пропорциях в его составе находятся как гуминовые, так и фульвокислоты) до постепенного превращения в фульватный тип в нижних горизонтах профиля, когда в составе гумуса фульвокислоты преобладают над гуминовыми более, чем в два раза. При рассмотрении гумусовых профилей с позиций сочетания ЭПП, подробно изложенных в (Дергачева, 1984), можно отметить, что верхняя часть может быть определена как гумификационно-трансформационная (в ней имеет место процесс гумификации и образования бурых гуминовых кислот, а также трансформация продуктов гумификации в преобладающую (типовую) их форму), нижняя – как трансформационно-миграционная, в которой процессы миграции продуктов гумификации существенно преобладают над остальными.

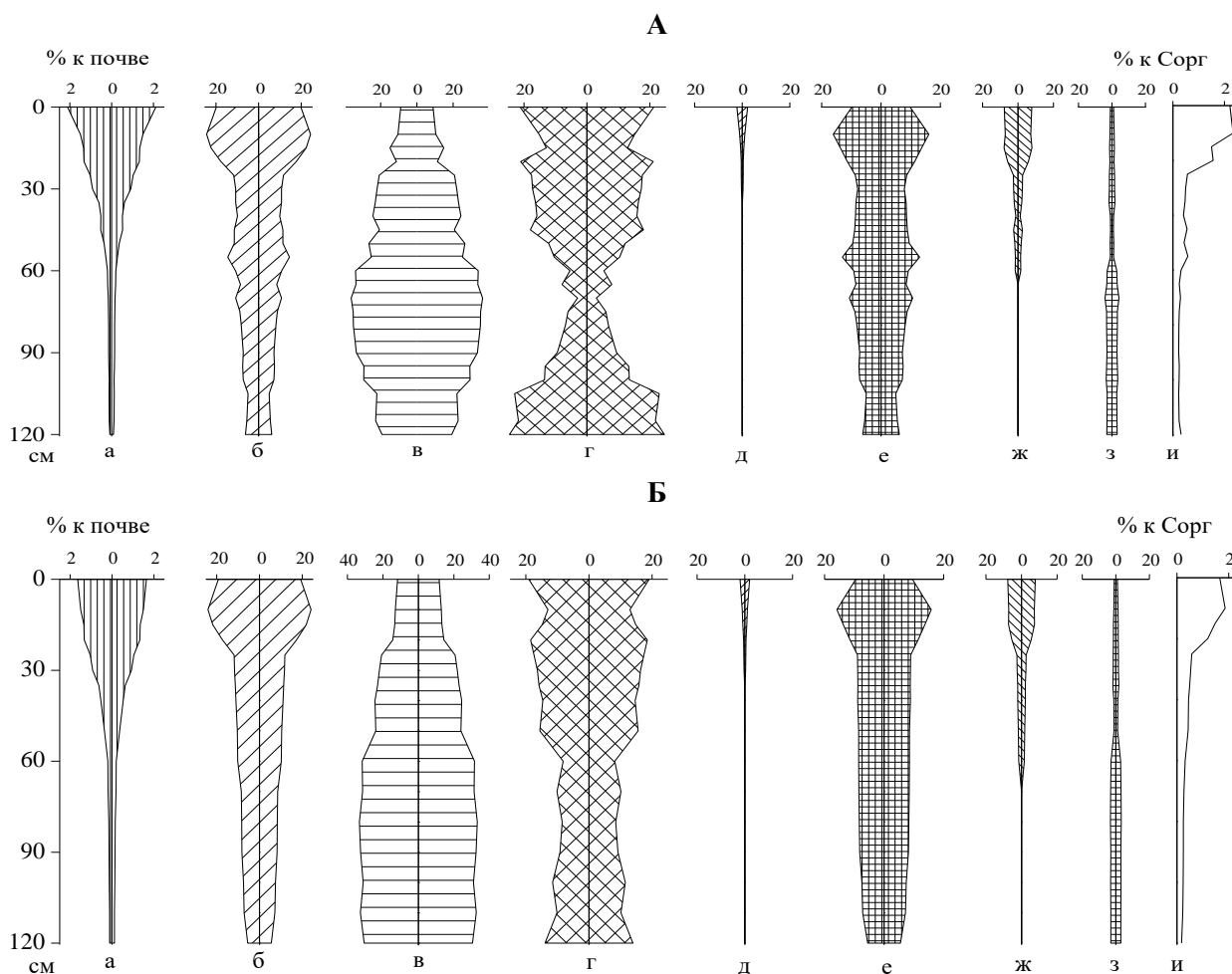


Рисунок 4. Гумусовые профили чернозёмов, сформированных на лёссовидных суглинках в северной части ключевого участка Володарка: А – р. 1-04Д; Б – р. 1-06. Условные обозначения см. рис. 3.

Анализ особенностей гумусовых профилей, со сложным морфологическим строением почв, рассматриваемый на примере четырёх гумусовых профилиграмм, отражающих разные по морфологии, набору горизонтов и горизонтной структуре в пределах каждого индивидуального почвенного профиля, показал, что варьирование свойств почвенных профилей особенно четко проявляется при сравнении их на уровне гумусовых профилей (рис. 5).

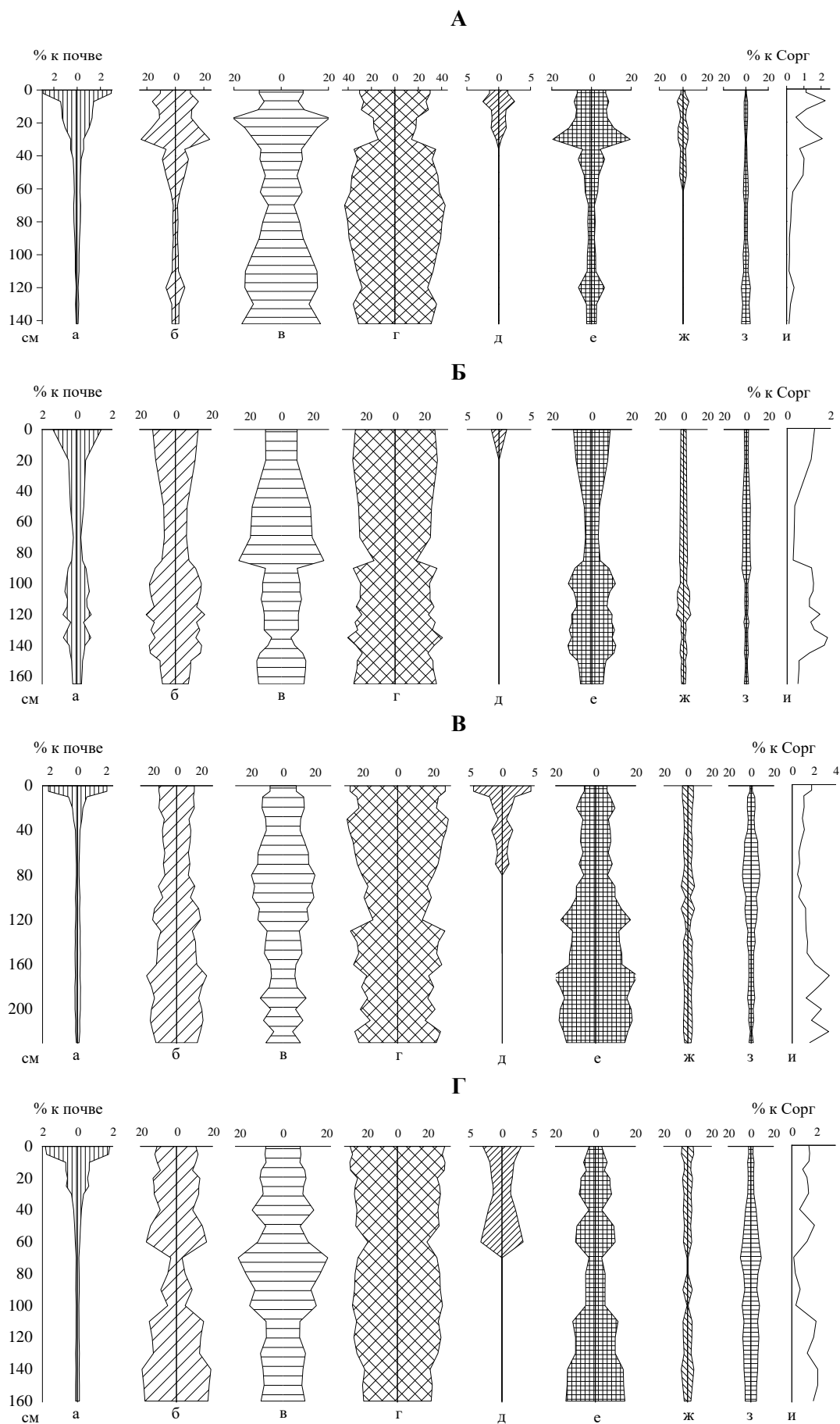


Рисунок 5. Гумусовые профили почв со сложным строением, разрезы: А – 5-05, Б – 3-014, В – 4-019, Г – 7-019. Условные обозначения см. рис. 3.

Так, в почвенном профиле разреза 5-05 в верхней части морфологически выделяется гумусовый горизонт мощностью около 60 см, деление которого на подгоризонты визуалью затруднено, но по данным, характеризующим гумусовый профиль, эта толща четко подразделяется на два горизонта с разными количественными характеристиками: неодинаковой долей гуминовых кислот, фульвокислот и негидролизующих форм гумуса, а также всех фракций ГК и разным соотношением их с ФК (рис. 5 А). Кроме того, на глубине около 120 см выявлено еще одно относительное накопление гуминовых кислот и увеличение $C_{гк}:C_{фк}$, хотя и незначительное как по величине, так по мощности гумусового горизонта. Гумус здесь имеет гуматно-фульватный тип

Следующие три гумусовых профиля почв (рис. 5 Б–Г), вскрытых разрезами на выходах к поверхности разных горизонтов строенного среднеплейстоценового педокомплекса, имеют значительно варьирующие характеристики, зависящие от того, присутствие какой из палеопочв обнаруживается в анализируемых толщах. Местоположение разрезов и связи их с выходами к поверхности палеопочв можно уточнить по снимкам береговых обнажений и фиксации на них расположения анализируемых разрезов, представленных ранее (см. рис. 2).

Гумусовый профиль почвы, вскрытой разрезом 3-014, согласно комплексу характеристик, четко подразделяется на две части: верхнюю – аналогичную по распределению разных показателей состава и свойств гумуса рассмотренным выше типичным профилям чернозёмов, распространённым на участке Б, и нижнюю, существенно отличающуюся параметрами гумусовой составляющей почв.

Верхняя часть характеризуется резким сокращением количества общего органического углерода ($C_{орг}$) и доли ГК (среди которых преобладают гуматы кальция) при переходе от горизонта А к АВ, дальнейшим постепенным его сокращением до глубины 80–85 см (где находится кровля одной из погребённых палеопочв), а также очень небольшой мощностью толщи, где идёт процесс интенсивного гумусообразования и присутствуют бурые гуминовые кислоты. С позиций сочетания в этой части гумусового профиля элементарных гумусообразовательных процессов ее также можно отнести к гумификационно-трансформационному типу. Выявленный в этой части профиля фульватно-гуматный состав гумуса, лежит в пределах, характерных для чернозёмов южных Западно-Сибирского региона (Дергачева, 1984, Клёнов, 2000).

Нижняя часть гумусового профиля, четко выделяемая в этой почве морфологически по потемнению окраски, увеличению плотности и некоторому утяжелению гранулометрического состава, отличается относительно высоким содержанием $C_{орг}$: его количество округлённо лежит в пределах от 1 до 1,6%. Такая высокая аккумуляция общего органического углерода не характерна для плейстоценовых палеопочв, в большинстве которых ее величина на порядок и более ниже, чем в аналогах современных почв (Глазовская, 1956; Дергачева, Зыкина, 1988).

В этой части гумусового профиля выявлены две палеопочвы, кровли которых, судя по аккумуляции, соотношению и распределению разных групп и фракций гумусовых веществ, приурочены к глубинам 85 и 115 см (рис. 5 Б). Учитывая установленный факт снижения количества органического углерода в диагенезе и отсутствие поступления свежих источников для гумусообразования (Глазовская, 1956; Дергачева, Зыкина, 1988), высокое содержание в них общего органического углерода позволяет предположить, что в период функционирования палеопочв на дневной поверхности, природная обстановка была оптимальной для гумусообразования и они были более высокогумусированными, чем современные степные почвы.

Наиболее древняя, нижняя от поверхности палеопочва, отличается некоторой неоднородностью состава гумуса: здесь выявлено два разной мощности, но с близким уровнем аккумуляции гумусовых веществ слоя, которые различаются долевым участием гуминовых кислот и фульвокислот и их соотношением. Однако, величина последнего в обоих случаях лежит в пределах градаций, характерных для гуматного типа гумуса ($C_{гк}:C_{фк} > 1,5$). Наличие таких толщ с максимальными долями ГК (до 33%) и минимальными – ФК (12%), а также с гуматным типом гумуса свидетельствует о более благоприятной для гумусо- и почвообразования, природной обстановке, чем современная, когда типовая принадлежность гумуса почв не переходит границ фульватно-гуматной градации.

Вторая погребённая почва, расположенная выше (85–115 см), судя по совокупности характеристик групп и фракций гумусовых веществ, формировалась в термических условиях, близких современным, так как их характеристики близки (рис. 5 Б). В то же время при изучении физико-химических свойств почвы, вскрытой разрезом 3-014, было обнаружено относительно высокое содержание в почвенном поглощающем комплексе катиона магния ($7,5-9,5$ ммоль $\cdot 100$ г⁻¹ почвы), что при общей сумме катионов кальция и магния в $13,5-15$ ммоль $\cdot 100$ г⁻¹ почвы), может

указывать на былую солонцеватость палеопочв, а превышение последнего над первым может свидетельствовать в пользу палеогидроморфизма. Вполне возможно, что описанная палеопочва в период своего функционирования как дневной почвы развивалась по типу лугово-чернозёмных, поскольку основные характеристики гумусовой составляющей этой палеопочвы лежат в градациях степного типа почвообразования. О возможном гидроморфизме можно судить также по мощному четко проявляющемуся в береговом обнажении железистому горизонту, лежащему под горизонтом повышенного накопления гумуса.

Таким образом, палеопочвы, вскрытые разрезом 3-014, отличаются повышенной остаточной гумусированностью, гуматным и фульватно-гуматным типом гумуса, а среди ЭПП в них преобладают процессы фрагментарного и матричного обновления или матричного самовосстановления гумусовых веществ за счёт дериватов разлагающихся гумусовых веществ и, возможно, мигрирующих фульвокислот. Термические условия почвообразования этих палеопочв в период их образования были благоприятными и даже оптимальными для гумусонакопления, а увлажнённость, скорее всего, была неоднозначной: характеристики нижней, самой древней в этом разрезе почвы соответствуют современным аналогам, развивающимся по чернозёмному типу, а лежащей выше – к чернозёмным почвам, испытывающим повышенное влияние увлажнения.

Много общего, и в то же время различий, выявлено в гумусовых профилях почв, вскрытых разрезами 4-019 и 7-019. Эти разрезы расположены в месте выхода близко к поверхности палеопочв, соответственно второй и третьей из рассматриваемого среднеплейстоценового педокомплекса (см. рис 2 В), и поэтому как морфологический, так и гумусовый профиль имеют сложное строение и варьирующие характеристики. И хотя в обеих почвах, согласно полученным данным, можно выделить, как и в предыдущем случае, верхнюю и нижнюю части, они существенно различаются и по распределению общего органического углерода и по всем остальным характеристикам гумусовых профилей, отражая специфику сочетания ЭПП в каждой из них.

Почва, вскрытая разрезом 4-019, имеет высокое, превышающее менее или более 1%, содержание общего органического углерода только в верхней 10-см толще. Ниже происходит резкое его сокращение, которое до глубины 80–90 см (где морфологически начинается потемнение окраски горизонта, усиливающееся книзу, и переходящее на глубине 160 см в четко выраженный палеогоризонт накопления гумуса) постепенно снижается до величины менее 0,2% (рис. 5 В, а). Верхняя часть вскрытой почвенной толщи имеет черты, типичные для современных черноземов южных этого района исследования: преобладание ГК над ФК и гуматный тип гумуса, который с глубиной в этой части профиля постепенно сменяется на фульватно-гуматный, а затем – на гуматно-фульватный. Свидетельство современного процесса гумификации – содержание и распределение бурых гуминовых кислот до 70–80 см, и преобладание в составе типовых ГК – черных их форм, позволяет отнести эту часть профиля по сочетанности ЭПП к гумификационно-трансформационному типу. Нижняя часть гумусового профиля этой почвы отличается существенной неоднородностью, которая фиксируется изменением долей основных групп гумусовых веществ, а также высоким содержанием и преобладанием черных форм гуминовых кислот, наличие которых свидетельствует о благоприятном термическом режиме во время формирования этих почв. Флуктуации характеристик гумусового профиля в этой части разреза, возможно, связаны с процессами экзогенеза, но все параметры соотношения $S_{гк}:S_{фк}$ кислот к углероду фульвокислот лежат в пределах, характерных для черноземообразования. Хорошая сохранность здесь гуминовых кислот и относительно повышенная доля свободных фульвокислот позволяет предполагать, что основными ЭПП в этой части профиля являются процессы фрагментарного и матричного обновления или матричного самовосстановления гумусовых веществ за счёт дериватов разлагающихся гумусовых веществ и, возможно, мигрирующих фульвокислот.

Ещё сложнее оказались характеристики гумусового профиля почвы, вскрытой разрезом 7-019. Здесь даже верхняя часть профиля (0–40 см) имеет не характерный для типичных почв чернозёмной зоны вид: гумусово-аккумулятивная толща практически не дифференцирована по качеству гумуса и величина интегрального показателя ($S_{гк} : S_{фк}$) одинакова как в маломощном горизонте А₁, так и, судя по положению, АВ. Хотя величина этого показателя лежит в пределах, характерных для почв чернозёмного ряда. Вполне возможно, что эта часть гумусового профиля имеет палеогенетическое происхождение. Однозначный ответ на этот вопрос требует более широкого обсуждения с привлечением результатов дополнительных исследований.

Как и в предыдущих разрезах, верхнюю часть гумусового профиля можно отнести к гумификационно-трансформационному типу, а нижнюю – к аналогам, с преобладанием процессов

саморегуляции и самовосстановления, присущим всем природным системам открытого типа, каковыми являются гумусовые вещества.

Таким образом, рассмотренные гумусовые профили палеопочв исследуемой территории отличаются внутривертикальной неоднородностью характеристик, разной степени изменчивостью количественных параметров гумусовых веществ и их соотношений, которые в целом лежат в пределах, характерных для почв степных условий почвообразования с разной степенью увлажнённости: кроме современного, во вскрытых толщах выделяется ещё один – три относительно мощных горизонта с повышенной гуматностью гумуса, что подтверждается, в том числе, и морфологическим обликом почв.

Одной из основных причин существенного варьирования свойств гумусовых профилей палеопочв степных участков северо-восточной части Приобского плато является выход на дневную поверхность различных горизонтов разновозрастных древних почв, выступающих как подстилающая порода современных почв, другой – разный уровень возможностей самовосстановления системы гумусовых веществ, результаты которой зависят от тех условий природной среды, в которой изначально формировалась гумусовая составляющая почв, представляющая собой природную диссипативную саморегулируемую систему.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и сопоставление полученных материалов, характеризующих гумусовые профили современных чернозёмов на территории северо-восточной части Приобского плато, показал, что они имеют существенное варьирование характеристик, представляя ряд от типичных для таких почв вариантов (когда по сочетанию признаков элементарных гумусообразовательных процессов (ЭГП), четко выделяется верхняя часть с гумификационно-трансформационным типом их структуры и нижняя – с трансформационно-миграционным типом сочетания ЭГП) до разной степени структурной их сложности (когда выделяется несколько частей с разными количественными соотношениями параметров гумусовых веществ, при преобладании процессов их самовосстановления на фоне других ЭГП).

Преимуществом применения гумусовых профилей при анализе состояния почв и формирующей их природной среды является возможность проведения более детального анализа изменчивости свойств, использования отложений и почв разной сохранности, выявления варьирования параметров природной среды даже в случае очень коротких эпизодов смены одного или нескольких факторов почвообразования или отдельных их характеристик, которые по продолжительности меньше характерного времени, необходимого для формирования морфологической выраженности признака.

Выявлено, что существенное различие качественных и количественных характеристик гумусовых профилей чернозёмов левобережья реки Оби в пределах Приобского плато обусловлено сложной историей развития территории, в процессе которой разные горизонты среднеплейстоценовых почв в разных местах выходили на поверхность, и поэтому обнаруживаются в пределах толщи, обычной для сформированных полнопрофильных современных почв, а также разным уровнем возможностей самовосстановления природной диссипативной саморегулируемой системы гумусовых веществ, зависящей от экологических условий в период её формирования.

Представленные в работе материалы и их интерпретация показывают, что получаемая информация о состоянии почв и природной среды на основе изучения гумусовых профилей почв, характеристиками которых могут выступать результаты изучения состава и свойств гумуса, не потеряла своей значимости и может использоваться при решении широкого круга проблем почвоведения, в том числе при мониторинге состояний почв, обосновании прогнозов их поведения при изменении экологических условий функционирования, а также разработке моделей управления почвенным плодородием.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Александрова Л.Н. Изучение процессов гумификации растительных остатков и природы новообразованных гумусовых кислот // Почвоведение. 1972. № 7. С. 37–45.

Арчегова И.Б. О гумусовых профилях некоторых таёжных и тундровых почв Европейской части СССР // Почвоведение. 1974. № 3. С. 23–28.

- Бараннык А.В. Особенности формирования гумусового профиля горно-лугово-буроземных почв (Cambic Umbrisols) Украинских Карпат // Научные ведомости. Серия Естественные науки. 2016. № 25 (246). Выпуск 37. С. 103–113.
- Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д. Фракционно-групповой состав гумуса криогенных поверхностно-глеевых и гидроморфных почв большеземельской тундры // Вестники Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. 2012. Вып. 1. С. 107–120.
- Бронникова М.А., Агатова А.Р., Лебедева М.П., Непоп Р.К., Конопляникова Ю.В., Турова И.В. Запись голоценовых изменений ландшафтов высокогорий юго-восточного Алтая в почвенно-литологической серии долины р. Богуты // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1413–1430. DOI: 10.1134/S0032180X18120031.
- Волобуев В.Р. Система почв мира. Баку: Изд-во Элм, 1973. 308 с.
- Глазовская М.А. Погребенные почвы, методы их изучения и их палеографическое значение // Вопросы географии. Москва-Ленинград, 1956. С. 59–68.
- Демкин В.А., Дергачева М.И., Борисов А.В., Рысков Я.Г., Олейник С.А. Позднеголоценовая динамика палеоэкологических условий на юге Волго-Донского междуречья // Древности Волго-Донских степей в системе Восточно-Европейского бронзового века. Волгоград: Перемена, 1996. С. 33–37.
- Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. 155 с.
- Дергачева М.И. Эколого-генетическая значимость гумусового профиля почв // Роль органического вещества в формировании почв и их плодородии. Москва: Изд-во Почв. Ин-та им. В.В. Докучаева, 1990. С. 20–27.
- Дергачева М.И. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. 292 с.
- Дергачева М.И., Вашукевич Н.В., Гранина Н.И. Гумус и голоцен-плиоценовое почвообразование в Предбайкалье. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 204 с.
- Дергачева М.И., Деревянко А.П., Феденева И.Н. Эволюция природной среды Горного Алтая в позднем плейстоцене и голоцене: (реконструкция по признакам педогенеза). Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2006. 143 с.
- Дергачева М.И., Зыкина В.С. Органическое вещество ископаемых почв. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 128 с.
- Дергачева М.И., Кулижский С.П., Никифоров А.Н., Захарова Е.Г. Физические свойства почв с признаками древнего педогенеза Барнаульского Приобья (Алтайский край, Россия) // Региональные геосистемы 2020. Т. 44. № 4. С. 446–461. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-4-446-461.
- Дергачева М.И., Ондар Е.Э., Захарова Е.Г. Гумусовые профили горно-каштановых почв сложной катены (Центральная Тува) // Сибирский экологический журнал. 2010. Т. 17. № 3. С. 429–436.
- Дергачева М.И., Пономарев С.Ю. Морфогенетические особенности почв с древними признаками почвообразования восточной части Приобского плато // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. 6 (167). С. 207–212.
- Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. Москва: Издательство МГУ, 1995. 320 с.
- До Дин Шан. Характеристика некоторых типов гумусового профиля подзолистых лесных почв Ленинградской области // Почвоведение. 1977. № 6. С. 14–22.
- Дюшофур Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв. Москва: Прогресс, 1970. 591 с.
- Захарова Е.Г. Варьирование свойств в верхней части современных почв и поверхностных палеопочв ключевого участка Володарка (Барнаульское Приобье) // Материалы II Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск: ООО «Талер-Пресс», 2011. С. 91–94.
- Золотарева Б.Н., Демкин В.А. Гумус палеопочв археологических памятников сухих степей Волго-Донского междуречья // Почвоведение. 2013. № 3. С. 291–301. DOI: 10.7868/S0032180X13030143.
- Каллас Е.В. Гумусовые профили почв озерных котловин Чулымо-Енисейской впадины. Новосибирск: Изд-во «Гуманитарные технологии», 2004. 170 с.
- Каллас Е.В., Дергачева М.И. Гумусовый профиль почв как отражение стадийности почвообразования // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 14. № 5. С. 711–719.

- Каллас Е.В., Дергачева М.И. Гумусовые профили почв Сибири разных условий почвообразования // Сибирский экологический журнал. 2011. Т. 18. № 5. С. 633–640.
- Каллас Е.В., Пак Т.С., Родикова А.В. Гумусовые профили кедровых лесов Томь-Яйского междуречья // Современное состояние и проблемы рационального использования почв Сибири: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию образования кафедры почвоведения. Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина; Омское отделение МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». Омск: 2020. С. 24–28.
- Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:2500000 / Науч. ред.: Г.В. Добровольский, И.С. Урушевская. М.: «Талка+», 2013.
- Классификация и диагностика почв СССР / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розова, В.А. Носин, Т.А. Фриев. Москва: Колос, 1977. 224 с.
- Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Клёнов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2000. 176 с.
- Климова Н.В., Дюкарев А.Г. Формирование гумусового профиля почв в длительно-производных лесах васюганской равнины (Западная Сибирь) // Почвы и окружающая среда. 2018. Т. 1. № 4. С. 218–230. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v1i4.47>.
- Ковалёва Е.В., Вагурин И.Ю., Акинчин А.В., Кузьмина О.С., Тетерядченко А.И. Изучение мощности гумусового профиля почвенных катен центральной лесостепи // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 16–20. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i7pp16-20>.
- Лойко С.В., Герасько Л.И., Кулижский С.П. Группировка носителей почвенной памяти (на примере северной части ареала черневых экосистем) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 3 (15). С. 38–49.
- Назарова А.В., Попова Е.А. Лабильные формы гумусовых веществ в гумусовых профилях пахотной и залежных дерново-подзолистых суглинистых почв // Агрономия и биология. 2015. С. 101–104.
- Некрасова О.А., Дергачева М.И., Учаев А.П., Бажина Н.Л. Сарыкульские палеопочвы отложений Миасского карьера (Южный Урал) с позиций палеопедологии // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2016. 4 (36). С. 6–20. DOI: 10.17223/19988591/36/1.
- Никитич П.А. Изменчивость признаков педогенеза в гумусовом профиле голоценовых почв как отражение условий природной среды его формирования // Почвы, палеопочвы и формирующая их природная среда: Материалы III Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск: ЗАО «ОФСЕТ», 2012. С. 91–97.
- Новокрещенных Т.А., Козырева К.В. Гумусовые профили лугово-черноземных почв кластерного участка «Озеро Беле» заповедника «Хакасский» // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Томск: Изд. Дом Томского государственного университета, 2015. С. 68–72.
- Орлова Н.Е. Некоторые диагностические признаки гумусовых профилей почв на переходе от дерново-подзолистых к бурым лесным // Бюл. Почв. ин-та ВАСХНИЛ. М., 1979. № 20. С. 6–10.
- Очур К.О. Условия формирования реликтовых гумусовых горизонтов почв долины реки Улуг-Хондергей // Почвы, палеопочвы и формирующая их природная среда: Материалы III Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск, 2012. С. 103–111.
- Палеопочвы, природная среда и методы их диагностики. Новосибирск: ЗАО «Офсет», 2012. 264 с.
- Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 692 с.
- Песочина Л. С. Закономерности педогенеза в степях Приазовья во второй половине голоцена по данным почвенно-археологических исследований // Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2017. Т. 3 (69). № 3. Ч. 1. С. 192–204.
- Пономарева В.В. О генезисе гумусового профиля чернозёма // Почвоведение. 1974. № 7. С. 22–25.
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Ленинград: Наука, 1980. 222 с.

Свалова А.В. Гумусовые профили чернозёмов юга Западной Сибири. В сборнике: Вестник Томского государственного университета. Материалы III Всероссийской научной конференции «Современные проблемы почвоведения и оценки земель Сибири», посвящённой 75-летию со дня основания кафедры почвоведения Томского государственного университета. Томск: Издание Томского государственного университета, 2005. Приложение 15. С. 11–13

Седов С.Н., Хохлова О.С., Сеницын А.А., Коркка М.А., Русаков А.В., Ортега Б., Соллейро Э., Розанова М.С., Кузнецова А.М., Каздым А.А. Позднеплейстоценовые палеопочвенные серии как инструмент локальной палеогеографической реконструкции (на примере разреза Костенки 14) // Почвоведение. 2010. № 8. С. 938–955.

Смоленцева Е.Н. Региональные и зонально-провинциальные особенности чернозёмов Западной Сибири // Почвы в биосфере: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск / отв. ред. А.И. Сысо. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. Ч. I. С. 105–110.

Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения / Изд. 2-е, испр. и доп. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. 288 с.

Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: почва-память и почва-момент // Изучение и освоение природной среды. Москва: Изд. ин-та географ. АН СССР, 1976. С. 150–164.

Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: рефлекторность и сенсорность почв // Системные исследования природы. Вопросы географии. Сб. 104. Москва: Мысль, 1977. С. 153–170.

Таргульян В.О., Бронникова М.А. Память почв: теоретические основы концепции, современное состояние и перспективы развития // Почвоведение. 2019. № 3. С. 259–275. DOI: 10.1134/S0032180X19030110.

Тихова В.Д., Фадеева В.П., Дергачева М.И., Шакиров М.М. Использование кислотного гидролиза для анализа состава гуминовых кислот разного генезиса // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81. № 11. С. 1841–1846. DOI: 10.1134/S1070427208110177.

Тюрин И.В. Органическое вещество почв. Москва: Сельхозгиз, 1937. 287 с.

Учаев А.П., Некрасова О.А. Гумусовые профили почв с погребенными горизонтами, формирующиеся в разных условиях // Почвы, палеопочвы и формирующая их природная среда: Материалы Третьей Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск: ЗАО «ОФСЕТ», 2012. С. 127–132.

Хавкина Н.В. Гумусообразование и трансформация органического вещества в условиях переменного-глеевого почвообразования. Уссурийск: ПГСХА, 2004. 270 с.

Хохлова О.С., Хохлов А.А., Кузнецова А.М., Малашев В.Ю., Магомедов Р.Г. Изменение свойств почв при разнонаправленных климатических колебаниях позднего голоцена в полупустынной зоне (на примере курганного могильника Паласа-Сырт // Почвоведение. 2015. № 1. С. 31–48. DOI: 10.7868/S0032180X15010104.

Чендев Ю.Г., Лупо Э.Р., Лебедева М.Г., Борбукова Д.А. Региональные особенности климатической эволюции почв южной части восточной Европы во второй половине голоцена // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1411–1423. DOI: 10.7868/S0032180X15120047.

Черепанова С.А., Самофалова И.А. Гумусовые профили горных почв Северного Урала // Почвы археологических, геологических объектов и фоновых территорий: Материалы Шестой Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск: Издательский дом ООО «Окарина», 2015. С. 77–80.

Чертов О.Г., Надпорожская М.А. Формы гумуса лесных почв: концепции, классификации, перспективы развития и использования // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1202–1214. DOI: 10.1134/S0032180X18100027.

Чертов О.Г., Разумовский С.М. Об экологической направленности процессов почвообразования // Общая биология. 1980. Т. 41. С. 386–396.

Якименко О.С., Седов С.Н., Соллейро Э. Гумусное состояние современных и погребенных вулканических почв Мексики и его значение для палеогеографической интерпретации тефро-почвенных серий // Почвоведение. 2007. № 3. С. 302–309.

Aitkenhead M., Black H., Towers W. Soil is memory of the land. Published on The James Hutton Institute. 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://www.hutton.ac.uk/learning/soilshutton/international-year-soils-series-articles/soil-memory-land> (дата обращения 06.09.2023).

- Bernier L. La question du lien social ou la sociologie de la relation sana contrainte // Lien social et Politiques. 1998. Vol. 39. P. 27–32. DOI: <https://doi.org/10.7202/005058ar>.
- Holmes J.A., Zhang J., Chen F., and Qiang M. Paleoclimatic implications of an 850-year oxygen-isotope record from the northern Tibetan Plateau // Geophysical Research Letters. 2007. Vol. 34. Iss. 23. L 23403. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL032228>.
- International Union of Soil Sciences (IUSS) Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. 4th edition. Vienna, Austria, 2022.
- Janzen H. The Soil Remembers // Soil Science Society of America Journal. 2016. Vol. 80. Iss. 6. P. 1429–1432. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.05.0143>.
- Kosaka J., Honda C., Izeki A. Formation of humus profile in upland soils // Soil Science and Plant Nutrition. 2012. Vol. 8. Iss. 6. P. 24–29s. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.1962.10431014>.
- Kounda Kiki C., Vaculik Anna, Ponge J.-F., Sarthou C. Humus profiles under main vegetation types in a rock savanna (Nouragues inselberg, French Guiana) // Geoderma. 2006. Vol. 136. Iss. 3–4. P. 819–829. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.06.007>.
- Kovalyova E., Kotlyarova E., Kuzmina O., Breslavets Yu., and Teteryadchenko A. Study of thickness of humus profiles of gray forest and chernozem soils of different terms of agricultural use in landscape shrubs of the central forest-steppe // BIO Web of Conferences. 2021. Vol. 39. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213901006>.
- Lapsansky E.R., Milroy A.M., Andales M.J., Vivanco J.M. Soil memory as a potential mechanism for encouraging sustainable plant health and productivity // Current Opinion in Biotechnology. 2016. Vol. 38. P. 137–142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.01.014>.
- Mazurek R., Kowalska J., Gasiorek V., Setlak M. Micromorphological and physico-chemical analyses of cultural layers in the urban soil of a medieval city – A case study from Krakow, Poland // Catena. 2016. Vol. 141. P. 73–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.026>.
- Monger H.C., Rachal D.M. Soil and landscape memory of climate change – how sensitive, how connected? Book chapter. In book: New Frontiers in Paleopedology and Terrestrial Paleoclimatology: Paleosols and Soil Surface Analog Systems / Driese S.G., Nordt L.C. SEPM Society for Sedimentary Geology. 2013. Vol. 104. P. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.2110/sepmsp.104>.
- Müller P.E. Studien über die natürlicher Humusformen. Berlin, 1887.
- Pesochina L.S. The formation of the humus profile of chernozems in the Azov province // Eurasian Soil Science. 2008. Vol. 41. P. 1406–1411. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229308130085>.
- Schindler M., Hochella M.F. Soil memory in mineral surface coatings: Environmental processes recorded at the nanoscale // Geology. 2015. Vol. 43 (5). P. 415–418. DOI: <https://doi.org/10.1130/G36577.1>.
- Sycheva S., Khokhlova O. Genesis, ¹⁴C-age and duration of development of the Bryansk paleosol on the Central Russian Upland on dating of different materials // Quaternary International. 2016. Vol. 399. P. 111–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.055>.
- Wachendorf C., Frank T., Broll G., Beylich A., Milbert G. A concept for a consolidated humus form description – an updated version of German humus form systematics // International Journal of Plant Biology. 2023. № 14 (3). P. 658–686. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijpb14030050>.
- Zech M., Glaser B. Improved compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ analysis of n-alkanes for application in palaeoenvironmental studies // Rapid Communication in Mass Spectrometry. 2008. Vol. 22. Iss. 2. P. 135–142. DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.3342>.
- Zech M., Zech R., Buggle B., and Zöller L. Novel methodological approaches in loess research – interrogating biomarkers and compound-specific stable isotopes // E&G Quaternary Science Journal. 2011. Vol. 60. Iss. 1. P. 170–187. DOI: <https://doi.org/10.3285/eg.60.1.12>.
- Zhang Y.-C., Rossow W.B., and Stackhouse P.W., Jr. Comparison of different global information sources used in surface radiative flux calculation: Radiative properties of the near-surface atmosphere // Journal of Geophysical Research. Atmospheres. 2006. Vol. 111. Iss. D13. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JD006873>.

Поступила в редакцию 15.09.2023

Принята 09.10.2023

Опубликована 09.10.2023

Сведения об авторах:

Захарова Елена Геннадьевна – младший научный сотрудник лаборатории биогеоценологии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); zakharova@issa-siberia.ru

Дергачева Мария Ивановна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); mid555@yandex.com; dergacheva@issa-siberia.ru

Каллас Елена Витальевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения и экологии почв Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия); ekallas70@gmail.com

Бажина Наталья Леонидовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеоценологии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); bazhina@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

HUMUS PROFILE SPECIFICITY OF CHERNOZEMS OF THE OB RIVER LEFT BANK WITHIN THE PRIOB PLATEAU

© 2023 E. G. Zakharova ¹, M. I. Dergacheva ¹, E.V. Callas ², N.L. Bazhina ¹

¹*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentiev 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: zakharova@issa-siberia.ru*

²*National Research Tomsk State University, Lenin Ave., 36, Tomsk, Russia. E-mail: ekallas70@gmail.com*

Purpose of the study: *to identify the features of chernozem humus profiles of the river Ob left bank within the Priob plateau (south of West Siberia) and the reasons that determined their diversity.*

Place and time. *The south of West Siberia (Topchikhinsky district of the Altai Territory), the north-eastern part of the Priobsky plateau, the steppe zone of the Pre-Altai province of the Kulundinsky-Aleysky district, the key site "Volodarka" on the eastern edge of the Porozikhinsky-Aleysky ridge (52°41-42' N and 83°38'E). Sampling was carried out annually in August.*

Methodology. *The collection and interpretation of materials are based on the principles and rules of the systems approach and soil ecology. The objects of study were southern and ordinary chernozems confined to different parts of the Volodarka key site (according to the soil classification of 1977; these classification names of soils are used in the text; according to the new Classification of Russian Soils (2004), the soils belong to the subtype of migratory-mycelial and textural-carbonate; according to WRB-2015 they are in the reference soil group Chernozems with the qualifiers calcic and siltic). The characteristics of humus profiles were obtained using traditional methods. All methods of analytical and instrumental study of humus and its individual components were identical. Methodological features of the research include detailed sampling (every 5–10 cm or less within the visual boundaries of the horizons) in late summer and the absence of strict methods for purifying preparations from mineral impurities. In this work, the concepts of "humus" and "system of humus substances" in soils are used as synonyms.*

Main results. *The humus profiles of the chernozems of the studied territory, currently functioning under the same conditions, have a significant variation in characteristics, representing a range of options typical for such soils (when, based on the combination of characteristics of elementary humus-forming processes - EHP - the upper part with the humification-transformation type of their structure and the lower one - with a transformation-migration type of combination of EHP), to varying degrees of structural complexity (when several parts are distinguished with different quantitative ratios of humus substances parameters with the predominance of their self-healing processes against the background of other EHP). The main characteristics of the studied buried paleosols lie within the limits peculiar to soils formed in temperature conditions optimal for humus formation, but different moisture conditions.*

Conclusion. *A significant difference in the qualitative and quantitative characteristics of chernozem humus profiles of the Ob river left bank within the Priob Plateau is due to both the complex history of the territory development, and different levels of self-healing capabilities of the natural open self-regulating humus substance system, depending on environmental conditions during the period of its formation. During complex history of the territory development different horizons of Middle Pleistocene soils came to the surface in*

different places, and therefore are found within the thickness usual for mature full-profile modern soils. The advantage of using humus profiles when analyzing the state of soils and the natural environment that forms them is the possibility of conducting a more detailed analysis of the variability of properties, the use of sediments and soils of different preservation, and identifying variations in environmental parameters even in the case of very short episodes of change in one or more soil formation factors or their individual characteristics, which are shorter in duration than the characteristic time required for the formation of the trait morphological expression. The materials presented in the work and their interpretation show that the information obtained about the soil state and the environment based on the study of soil humus profiles (the characteristics of which can be the results of studying the composition and properties of humus) has not lost its significance and can be used in solving a wide range of soil science problems including monitoring soil conditions, as well as substantiating forecasts of their behavior when changing environmental operating conditions.

Key words: humus profile; steppe soils; elementary humus-forming processes; parameters of humus substances; variation reason; Priobskoye Plateau.

How to cite: Zakharova E.G., Dergacheva M.I., Kallas E.V., Bazhina N.L. Humus profile specificity of chernozems of the Ob river left bank within the Priob Plateau // *The Journal of Soils and Environment* 2023. 6(2). e214. DOI: [10.31251/pos.v6i2.214](https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.214).

FUNDING

The study was carried out according to the state assignment of ISSA SB RAS.

REFERENCES

- Aleksandrova L.N. Study of the processes humification of plant residues and the nature of newly formed humic acids. *Pochvovedenie*. 1972. No. 7. P. 37–45. (in Russian).
- Arhegova I.B. On humus profiles of some taiga and tundra soils in the European part of the USSR. *Pochvovedenie*. 1974. No. 3. P. 23–28. (in Russian).
- Baranyk A.V. Features of the formation of humus profile of mountainous meadowy brown soils (Cambic Umbrisols) of the Chornogora array of the Ukrainian Carpathians. *Belgorod State University Scientific Bulletin Natural Sciences*. 2016. No. 25 (246). Is. 37. P. 103–113. (in Russian).
- Beznosikov V.A., Lodygin E.D. Fractional-group composition of humus in cryogenic surface-gley and hydromorphic soils of the bolshezemelskaya tundra. *Vestnik of Saint Petersburg University*. 2012. No. 3. Iss. 1. P. 107–120. (in Russian).
- Bronnikova M.A., Lebedeva M.P., Konopliankova Y.V., Turova I.V., Agatova A.R., Nepop R.K. Record of holocene changes in high-mountain landscapes of southeastern Altai in the soil-sedimentary sequence of the Boguty river valley. *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. No. 12. P. 1381–1396. DOI: [10.1134/S1064229318120037](https://doi.org/10.1134/S1064229318120037).
- Volobuev V.R. Soil system of the world. Baku: Publishing ELM, 1973. 308 P. (in Russian).
- Glazovskaya M.A. Buried soils, methods of their study and their paleographic significance. *Questions of geography*. Moscow. Leningrad, 1956. P. 59–68. (in Russian).
- Demkin V.A., Dergacheva M.I., Borisov A.V., Ryskov Ya.G., Oleinik S.A. Late Holocene dynamics of paleoecological conditions in the south of the Volga-Don interflaves. *Antiquities of the Volga-Don steppes in the system of the East European Bronze Age*. Volgograd: Peremena Publ., 1996. P. 33–37. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Soil organic matter: statics and dynamics. Novosibirsk: Nauka Publ., 1984. 155 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Ecological and genetic significance of the humus profile of soils. In book: *The role of organic matter in the formation of soils and their fertility*. Moscow: Publishing Dokuchaev Soil Science Institute, 1990. P. 90–27. (in Russian).
- Dergacheva M.I. The system of humus substances as a basis for the diagnosis of paleosols and the reconstruction of the paleo-natural environment. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2018. 292 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Vashukevich N.V., Granina N.I. Humus and holocene-pliocene soil formation in Predbaikalia. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2000. 204 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Derevianko A.P., Fedeneva I.N. Evolution of the Late Pleistocene-Holocene time in Gorny Altai (reconstruction based on pedogenic features). Novosibirsk: SB RAS, 2006. 144 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Zykina V.S. Organic matter in fossil soils. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1988. 128 p. (in Russian).

- Dergacheva M.I., Kulizhsky S.P., Nikiforov A.N., Zakharova E.G. Physical properties of soils with features of ancient pedogenesis in Barnaul Ob region (Altai territory, Russia). *Regional geosystems*. 2020. Vol. 44. No. 4. P. 446–461. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-4-446-461. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Ondar E.E., Zakharova E.G. Humus profiles of mountain-chestnut soils of a complex catena in Central Tuva. *Contemporary Problems of Ecology*. 2010. Vol. 17. No. 3. P. 429–436. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Ponomarev S.Y. Morphogenetic characteristics of soils since ancient pedogenic features located in eastern territory of Ob Plateau. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2014. No. 6 (167). P. 207–212. (in Russian).
- Dmitriev E.A. *Mathematical statistics in soil science*. Moscow: Publishing House MSU, 1995. 320 p. (in Russian).
- Do Din Shan. Characteristics of some types humus of humusprofiles in podzolic forest soils of Leningrad Region. *Pochvovedenie*. 1977. No. 6. P. 14–22. (in Russian).
- Dushofur F. *Fundamentals of soil science. Soil evolution*. Moscow: Progress, 1970. 591 p. (in Russian).
- Zakharova E.G. Properties variation of the upper part of modern soils and surface paleosols of the key site Volodarka (Barnaul Priobye). In book: *Proceedings of the Second International School on Paleopedology for young scholars in Siberia*. Novosibirsk: OOO «Taler-Press», 2011. P. 91–94. (in Russian).
- Zolotareva B.N., Demkin V.A. Humus in paleosols of archaeological monuments in the dry steppes of the Volga-Don interfluve. *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46. No. 3. P. 262–272. DOI: 10.1134/S1064229313030149.
- Kallas E.V. *Soil Humus Profiles of Chulym-Enisey valley's lake basins*. Novosibirsk: «Humanitarian technologies», 2004. 170 p. (in Russian).
- Kallas E.V., Dergacheva M.I. Humus profile of soils as a reflection of the stages of soil formation. *Contemporary Problems of Ecology*. 2007. Vol. 14. No. 5. P. 711–719. (in Russian).
- Kallas E.V., Dergacheva M.I. Humus profiles of Siberian soils under different forming conditions. *Contemporary Problems of Ecology*. 2011. Vol. 4. No. 5. P. 469–474. DOI: 10.1134/S1995425511050031.
- Kallas E.V., Pak T.S., Rodikova A.V. Humus profiles of cedar forests of the Tom-Yaya interfluve. In book: *Current state and problems of rational use of soils in Siberia: materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the foundation of the Department of Soil Science*. Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin; Omsk branch of the International Public Organization “Society of Soil Scientists named after V.V. Dokuchaev”. Omsk: 2020. P. 24–28. (in Russian).
- Map of soil-ecological zoning of the Russian Federation. Scale 1:2500000 / Sci. editor: G.V. Dobrovolsky, I.S. Urusevskaya. Moscow: "Talka +", 2013. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of the USSR / Compiled by: V.V. Egorov, V.M. Friedland, E.N. Ivanova, N.N. Rozova, V.A. Nosin, T.A. Frieв. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).
- Klenov B.M. *Stability of humus in automorphic soils of Western Siberia*. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, branch "GEO", 2000. 176 p. (in Russian).
- Klimova N.V., Dukarev A.G. Formation of soil humus profile under long-derivative forests on the vasyugan plain (West Siberia, Russia). *Soils and Environment*. 2018. Vol. 1. No. 4. P. 218–230. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v1i4.47>. (in Russian).
- Kovalyova E.V., Vagurin I.YU., Akinchin A.V., Kuzmina O.S., Teteryadchenko A.I. Study of power of humus profile of soil catens of central forest-steppe. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021. No. 7. P. 16–20. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i7pp16-20>. (in Russian).
- Loyko S.V., Gerasko L.I., Kulizhsky S.P. Grouping the carriers of soil memory (the case of the northern area of Chernvaya taiga). *Tomsk State University Journal of Biology*. 2011. No. 3 (15). P. 38–49. (in Russian).
- Nazarova A.V., Popova E.A. The labile forms of humus substances in the humus horizons of arable and fallow sod-podzolic loamy soils. *Agronomy and biology*. 2015. P. 101–104. (in Russian).
- Nekrasova O.A., Dergacheva M.I., Uchaev A.P., Bazhina N.L. Sarykul paleosols of the Miass quarry (Southern Urals) from the standpoint of paleopedology. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2016. No. 4 (36). P. 6–20. DOI: 10.17223/19988591/36/1. (in Russian).
- Nikitich P.A. Variability of humus profile pedogenic features of Holocene soils as a reflection of the formation environment. In book: *Soils, paleosols and environment. Proceedings of the Third International School of Paleopedology for young scholars in Siberia "Paleosols as a Source of Information about Past Environments"*. Novosibirsk: "OFSET", 2012. P. 91–97. (in Russian).

- Novokreshchennykh T.A., Kozyreva K.V. Humus profiles of meadow chernozem soils of area "lake Bele" section from "Khakassky" reserve. In book: Reflection of bio-, geo-, anthropospheric interactions in soils and soil cover. Collection of materials of the V International Scientific Conference dedicated to the 85th anniversary of the Department of Soil Science and Soil Ecology of TSU. Tomsk: Ed. House of Tomsk State University, 2015. P. 68–72. (in Russian).
- Orlova N.E. Some diagnostic signs of humus soil profiles at the transition from soddy-podzolic to brown forest soils. Bulletin of the Soil Institute VASKhNIL. Moscow: 1979. No. 20. P. 6–10. (in Russian).
- Ochur K.O. Conditions of soil relic humus formation at Ulug-Khondergei river valleys. In book: Soils, paleosols and environment. Proceedings of the Third International School of Paleopedology for young scholars in Siberia "Paleosols as a Source of Information about Past Environments". Novosibirsk: "OFSET", 2012. P. 103–111. (in Russian).
- Paleosols, natural environment and methods of their diagnostics / Dobrovolsky G.V., Dergacheva M.I. (responsible ed.). Novosibirsk: "Offset", 2012. 264 p. (in Russian).
- Soil Memory: Soil as a Memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere Interactions. Moscow: LKI Publishing House, 2008. 692 p. (in Russian).
- Pesochina L.S. Patterns of pedogenesis in the steppes of the Sea of Azov in the second half of the Holocene according to soil-archaeological studies. Scientific notes of the Krymskogo Federal University named after V.I. Vernadsky. Geography. Geology. 2017. Vol. 3 (69). No. 3. Part 1. P. 192–204. (in Russian).
- Ponomareva V.V. On the genesis of the humus profile of chernozem. Pochvovedenie. 1974. No. 7. P. 22–25. (in Russian).
- Ponomareva V.V., Plotnikova T.A. Humus and soil formation (methods and results of the study). Leningrad: Nauka, 1980. 222 p. (in Russian).
- Svalova A.V. Humus profiles of chernozems in the south of Western Siberia. In book: Bulletin of the Tomsk State University. Proceedings of the Third All-Russian scientific conference "Modern problems of soil science and assessment of Siberian lands", dedicated to the 75th anniversary of the founding of the Department of Soil Science of Tomsk State University. Tomsk: Publication of Tomsk State University, 2005. No. 15. P. 11–13. (in Russian).
- Sedov S.N., Solleiro E., Khokhlova O.S., Sinityn A.A., Korkka M.A., Rusakov A.V., Ortega B., Rozanova M.S., Kuznetsova A.M., Kazdym A.A. Late pleistocene paleosol sequences as an instrument for the local paleogeographic reconstruction of the Kostenki 14 key section (Voronezh oblast) as an example. Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43. P. 876–892. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229310080053>.
- Smolentseva E.N. Regional and zonal-provincial features of chernozems of Western Siberia. Soils in the biosphere: collection of materials of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS. September 10–14, 2018, Novosibirsk / resp. ed. A.I. Syso. Tomsk: Tomsk State University Publishing House, 2018. Part I. P. 105–110. (in Russian).
- Sokolov I.A. Theoretical problems of genetic soil science / Ed. 2nd, corrected and expanded. Novosibirsk. Humanitarian Technologies. 2004. 288 p. (in Russian).
- Sokolov I.A., Targulian V.O. Interaction of soil and environment: soil-memory and soil-moment, Study and development of the natural environment. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1976. P. 150–164. (in Russian).
- Sokolov I.A., Targulian V.O. Interaction of soil and environment: reflexivity and sensory of soils. Systemic research of nature. Questions of geography. Sat. 104. Moscow: "Mysl" Publ., 1977. P. 153–170. (in Russian).
- Targulian V.O., Bronnikova M.A. Soil memory: theoretical basics of the concept, its current state, and prospects for development. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 3. P. 229–243. DOI: 10.1134/S1064229319030116.
- Tikhova V.D., Fadeeva V.P., Dergacheva M.I., Shakirov M.M. Analysis of humic acids from various soils using acid hydrolysis. Russian Journal of Applied Chemistry, 2008. Vol. 81. No. 11. P. 1957–1962. (in Russian).
- Tyurin I.V. Soil organic matter. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1937. 287 p. (in Russian).
- Uchaev A.P., Nekrasova O.A. Humus soil profiles with buried horizons, which are forming in different conditions. In book: Soils, Paleosols and Environment Proceedings of the Third International School on Paleopedology for youth scholars in Siberia "Paleosols as a Source of Information about Environment Past Scientific of the International Scientific Youth on Paleosol Science". Novosibirsk: "OFFSET", 2012. P. 127–132. (in Russian).
- Khavkina N.V. Humus formation and transformation of organic matter under conditions of variable gley soil formation. Ussuriysk: PGSHA Publ., 2004. 270 p. (in Russian).
- Khokhlova O.S., Khokhlov A.A., Kuznetsova A.M., Malashev V.Y., Magomedov R.G. Changes in the soil properties under differently directed climatic fluctuations of the late Holocene in the semidesert zone (by the example of the

- Palasa-Syrt burial mounds in Dagestan). *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. No. 1. P. 27–42. DOI: 10.1134/S106422931501010X.
- Chendev Y.G., Lupo A.R., Lebedeva M.G., Borbukova D.A. Regional specificity of the climatic evolution of soils in the southern part of Eastern Europe in the second half of the Holocene. *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. No. 12. P. 1279–1291. DOI: 10.1134/S1064229315120042.
- Cherepanova S.A., Samofalova I.A. Humus profiles of the mountain soils of the Northern Urals. In book: *Soils of archaeological and geological objects and background territories: In book: "Paleosols as a Source of Information about Environment Past Scientific of the International Scientific Youth on Paleosoil Science"*. Proceeding of the Sixth International School on Paleopedology for Youth Scholar in Siberia Novosibirsk: Publishing House "Okarina", 2015. P. 77–80. (in Russian).
- Chertov O.G., Nadporozhskaya M.A. Humus forms in forest soils: concepts and classifications. *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. No. 10. P. 1142–115. DOI: 10.1134/S1064229318100022.
- Chertov O.G., Razumovsky S.M. On the ecological trends of soil forming processes. *General biology*. 1980. Vol. 41. P. 386–396. (in Russian).
- Yakimenko O.S., Sedov S.N., Solleiro E. Humus state of recent and buried volcanic soils in Mexico and its significance for paleogeographic interpretation of tephro-soil series. *Eurasian Soil Science*. 2007. Vol. 40. No. 3. P. 274–280. DOI: 10.1134/S1064229307030052.
- Aitkenhead M., Black H., Towers W. Soil is memory of the land. Published on The James Hutton Institute. 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://www.hutton.ac.uk/learning/soilshutton/international-year-soils-series-articles/soil-memory-land> (дата обращения 06.09.2023).
- Bernier L. La question du lien social ou la sociologie de la relation sana contrainte. *Lien social et Politiques*. 1998. Vol. 39. P. 27–32. DOI: <https://doi.org/10.7202/005058ar>.
- Holmes J.A., Zhang J., Chen F., and Qiang M. Paleoclimatic implications of an 850-year oxygen-isotope record from the northern Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. Iss. 23. L 23403. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL032228>.
- International Union of Soil Sciences (IUSS) Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps*. 4th edition. Vienna, Austria, 2022.
- Janzen H. The Soil Remembers. *Soil Science Society of America Journal*. 2016. Vol. 80. Iss. 6. P. 1429–1432. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.05.0143>.
- Kosaka J., Honda C., Izeki A. Formation of humus profile in upland soils. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2012. Vol. 8. Iss. 6. P. 24–29s. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.1962.10431014>.
- Kounda Kiki C., Vaculik Anna, Ponge J.-F., Sarthou C. Humus profiles under main vegetation types in a rock savanna (Nouragues inselberg, French Guiana). *Geoderma*. 2006. Vol. 136. Iss. 3–4. P. 819–829. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.06.007>.
- Kovalyova E., Kotlyarova E., Kuzmina O., Breslavets Yu., Teteryadchenko A. Study of thickness of humus profiles of gray forest and chernozem soils of different terms of agricultural use in landscape shrubs of the central forest-steppe. *BIO Web of Conferences*. 2021. Vol. 39. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213901006>.
- Lapsansky E.R., Milroy A.M., Andales M.J., Vivanco J.M. Soil memory as a potential mechanism for encouraging sustainable plant health and productivity. *Current Opinion in Biotechnology*. 2016. Vol. 38. P. 137–142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.01.014>.
- Mazurek R., Kowalska J., Gasiorek V., Setlak M. Micromorphological and physico-chemical analyses of cultural layers in the urban soil of a medieval city – A case study from Krakow, Poland. *Catena*. 2016. Vol. 141. P. 73–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.026>.
- Monger H.C., Rachal D.M. Soil and landscape memory of climate change – how sensitive, how connected? Book chapter. In book: *New Frontiers in Paleopedology and Terrestrial Paleoclimatology: Paleosols and Soil Surface Analog Systems* / Driese S.G., Nordt L.C. SEPM Society for Sedimentary Geology. 2013. Vol. 104. P. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.2110/sepmsp.104>.
- Müller P.E. *Studien über die natürlicher Humusformen*. Berlin, 1887.
- Pesochina L.S. The formation of the humus profile of chernozems in the Azov province. *Eurasian Soil Science*. 2008. Vol. 41. P. 1406–1411. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229308130085>.
- Schindler M., Hochella M.F. Soil memory in mineral surface coatings: Environmental processes recorded at the nanoscale. *Geology*. 2015. Vol. 43 (5). P. 415–418. DOI: <https://doi.org/10.1130/G36577.1>.

Sycheva S., Khokhlova O. Genesis, ¹⁴C-age and duration of development of the Bryansk paleosol on the Central Russian Upland on dating of different materials. *Quaternary International*. 2016. Vol. 399. P. 111–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.055>.

Wachendorf C., Frank T., Broll G., Beylich A., Milbert G. A concept for a consolidated humus form description – an updated version of German humus form systematics. *International Journal of Plant Biology*. 2023. No. 14 (3). P. 658–686. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijpb14030050>.

Zech M., Glaser B. Improved compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ analysis of n-alkanes for application in palaeoenvironmental studies. *Rapid Communication in Mass Spectrometry*. 2008. Vol. 22. Iss. 2. P. 135–142. DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.3342>.

Zech M., Zech R., Buggle B., Zöller L. Novel methodological approaches in loess research – interrogating biomarkers and compound-specific stable isotopes. *E&G Quaternary Science Journal*. 2011. Vol. 60. Iss. 1. P. 170–187. DOI: <https://doi.org/10.3285/eg.60.1.12>.

Zhang Y.-C., Rossow W.B., and Stackhouse P.W., Jr. Comparison of different global information sources used in surface radiative flux calculation: Radiative properties of the near-surface atmosphere. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 2006. Vol. 111. Iss. D13. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JD006873>.

Received 15 September 2023

Accepted 09 October 2023

Published 09 October 2023

About the authors:

Zakharova Elena Gennadievna – Junior Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); zakharova@issa-siberia.ru

Dergacheva Maria Ivanovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher in the Laboratory of Biogeocenology of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); mid555@yandex.com; dergacheva@issa-siberia.ru

Kallas Elena Vitalievna – Candidate of Biological Sciences, Docent in the Department of Soil Science and Soil Ecology of the National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia); ekallas70@gmail.com

Bazhina Natalia Leonidovna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); bazhina@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)