



ВАРЬИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЁМОВ ПРИОБСКОГО ПЛАТО В ГРАНИЦАХ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА «ВОЛОДАРКА» (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)

© 2023 Е. Г. Захарова

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2,

г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: zakharova@issa-siberia.ru

Цель исследования – оценить пространственную неоднородность физико-химических свойств чернозёмов Приобского плато в границах ключевого участка «Володарка» и объяснить причины, обусловившие их варьирование.

Место и время проведения. Степная зона северо-восточной части Приобского плато в границах ключевого участка «Володарка» (52° 41-42' с.ш. и 83° 38' в.д.); обсуждаются результаты многолетних исследований (2007–2019 гг.).

Объект исследования. Чернозёмы, формирующиеся под сухостепной растительностью на лёссовых отложениях, а также на разных горизонтах палеопочв среднелейстоценового возраста, выходящих к поверхности.

Методы. Почвенные образцы отбирали до глубины 40 см сплошной колонкой с шагом от 2 до 10 см, учитывая видимые границы генетических горизонтов. Содержание органического углерода определяли методом бихроматного окисления.

Основные результаты. Изученные свойства чернозёмов, функционирующих в настоящее время в одних и тех же экологических условиях ключевого участка, расположенного на территории Алтайского края, имеют существенное варьирование характеристик, что подтверждается среднестатистическими величинами показателей и коэффициентами их варьирования. Наибольшие колебания всех показателей во всех разрезах наблюдаются, как правило, на глубине 10–20 см или 20–40 см, тогда как на глубине 0–10 см они изменяются менее существенно. Выявлено, что степень гумификации и запасы гумуса, а также запасы азота и обогащенность им гумусовых веществ в 40-см толще характеризуются как существенные и отличаются наибольшей амплитудой на глубине 20–40 см.

Заключение. Неоднородность даже в пределах 40-см толщи профилей основных свойств чернозёмов, расположенных в одних и тех же природных условиях Приобского плато в границах ключевого участка «Володарка», обусловлена присутствием в них признаков древнего педогенеза, не отвечающих сочетанию современных условий почвообразования сухостепного типа. Это подтверждается наличием и протяженностью в береговых обнажениях реки Обь четко просматриваемых среднелейстоценовых педокомплексов, разные горизонты которых выходят к поверхности и перекрываются продуктами современного почвообразования разной мощности. Сочетание неоднородностей почвенных профилей по свойствам, положению в береговом обнажении и их визуальной дифференциации позволило заключить, что причиной варьирования признаков состава и свойств изученных почв послужила история развития данной территории, которая обусловила выход палеопочв к поверхности. Знание неоднородности разных свойств почвенных профилей позволяет использовать изученные признаки их состава и свойств при мониторинге состояния современных почв, обосновании прогнозов их поведения при изменении экологических условий функционирования, а также при выявлении признаков древнего педогенеза с целью реконструкции палеоприродной среды.

Ключевые слова: чернозёмы; Приобское плато; варьирование почвенных свойств; палеопочвы.

Цитирование: Захарова Е.Г. Варьирование свойств чернозёмов Приобского плато в границах ключевого участка «Володарка» (Алтайский край, Россия) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e248. DOI: [10.31251/pos.v6i4.248](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.248).

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывная изменчивость свойств почв, как во времени, так и в пространстве, уже давно является общепризнанной (Качинский, 1930; Дмитриев, 1995; Самсонова, 2003; 2008; Бандыч, 2016), но причины варьирования свойств почв, распространенных на разных географических территориях с определенными наборами и сочетанием факторов и условий почвообразования, могут быть неоднозначными.

В научной литературе имеется немало работ как российских, так и зарубежных авторов, посвященных изучению варьирования разных свойств почв (Литвинович, 2007; Мудрых, 2018; Белик и др., 2020; Coşkun et al., 2016; Jiao и et al., 2020; Zhou et al., 2023; и др.), в том числе, и в Западной Сибири (Рассыпнов, 1977; Татаринцев, 1993; Михеева, 1997; 2001; Татаринцев, 1998; Крупкин, Топтыгин, 1999; Спицына, Бахарев, 2010; Бурлакова, 2022; и др.). Однако большинство материалов, касающихся сибирского региона, относится к сельскохозяйственным землям, их пахотным и (или) подпахотным горизонтам, тогда как варьирование свойств целинных вариантов почв Западной Сибири, изучено недостаточно. До сих пор окончательно не сформулированы закономерности изменчивости (и особенно причины) в пространстве и во времени, зависящие от многих внешних и внутренних факторов, поэтому проблема изучения неоднородности почв и почвенных свойств, получения новых материалов для территорий с разной историей происхождения и разными характеристиками имеет большое значение (Савич и др., 2021).

Варьирование свойств почв может наблюдаться даже на небольших участках территории (Козловский, 1970; Фридланд, 1970; Денисова, 1974; Correa, Klaus, 1989), отражаясь в морфологии почв или в их физико-химических и химических свойствах. Часто неоднородность свойств почв выявляется только по аналитическим данным (Махонина, 2004). Последние особенно важны, так как отражают кратковременные изменения природной среды, не сопоставимые по длительности с характерным временем формирования основных признаков почв (Арманд, Таргульян, 1974). Особенно важно выявлять в почвенных профилях свойства, не отвечающие современным природным факторам почвообразования, то есть следы палеопедогенеза (Красильников, Таргульян, 2019). Полигенетичный характер большинства почв делает необходимым изучение варьирования их свойств, которые все чаще используются при реконструкции палеоприродной среды и обосновании прогнозов возможного изменения компонентов экосистем, в том числе почв. В последнее время, в связи с проблемой глобального изменения климата, особое значение приобрело изучение варьирования содержания и распределения общего органического углерода и азота почвы, которые, во-первых, являясь основными элементами глобальных циклов, могут влиять на концентрацию парниковых газов в атмосфере и, во-вторых, играть решающую роль в поддержании функций экосистем (Wang et al., 2021).

В связи с возрастающей интенсивностью антропогенной нагрузки неоднородность почв становится все более актуальным предметом научных исследований (Жуков, Задорожная, 2017). Черноземы Приобского плато, составляя основной фонд пахотных земель Алтайского края, испытывают колоссальную антропогенную нагрузку, связанную со значительной распаханностью территории и длительным использованием почв в составе пахотных угодий (Бурлакова, Морковкин, 2005; Морковкин, 2012; Морковкин и др., 2013; Максимова, 2017; и др.). Изучение варьирования свойств почв играет важную роль в сельском хозяйстве, так как разные участки земли могут потребовать различных методов обработки и удобрений, чтобы достичь оптимальных результатов при выращивании сельскохозяйственных культур. Точное изучение и понимание варьирования свойств почв помогает оптимизировать использование земель и увеличить урожайность (Личман, Марченко, 2011; Морев, 2017; Scharf et al., 2005; Daughtry et al., 2005).

Для более точного изучения возможностей изменения свойств черноземов в связи с антропогенными нагрузками требуется основа, которая бы позволяла проводить сравнение почвенных свойств и их мониторинга с целинными вариантами почв. На территории Приобского плато сохранились лишь отдельные участки с такими почвами, поэтому нами проведено изучение изменчивости свойств целинных черноземов на одной из типичных территорий.

РАЙОН, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования расположен на юге Западной Сибири, в пределах северо-восточной части Приобского плато, в непосредственной близости от левого берега реки Обь, где выделен ключевой участок «Володарка» (52° 41-42' с.ш. и 83° 38' в.д.). Он находится на восточной окраине Алейско-Порозихинского увала в 3–4 км южнее села Володарка. Территория ключевого участка представляет собой приподнятую слабоволнистую пологоувалистую равнину, расчлененную параллельными ложбинами древнего стока на ряд вытянутых с юго-запада на северо-восток водораздельных увалов с террасированными склонами, которые в верхней части имеют крутизну от 1,5 до 8–10° (Почвы..., 1959; Скрипко, 2015) (рис. 1).

Почвообразование на данной территории протекает в условиях континентального климата с недостаточным увлажнением (Энциклопедия..., 1995).

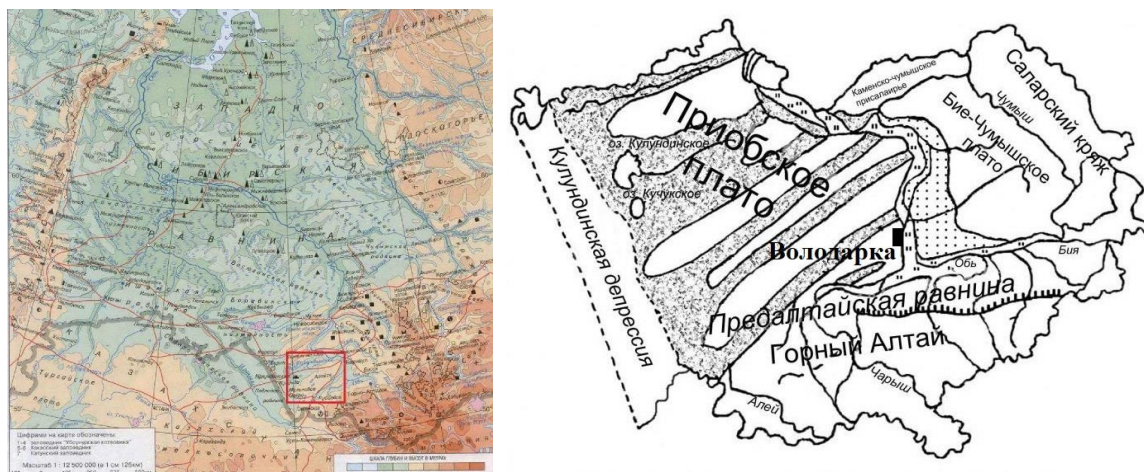


Рисунок 1. Географическое расположение ключевого участка «Володарка».

Ключевой участок «Володарка» шириной 300–400 м и протяженностью 2 км расположен вдоль берега реки Обь на высоте 30–40 м над урезом воды (рис. 2). Он характеризуется большой пестротой растительного покрова. Растительные ассоциации здесь могут меняться с типчаково-полынной, например, на тонконогово-полынную или разнотравно-злаковую. Почвы представлены чернозёмами обыкновенными и южными; в данной статье нами, в основном, обсуждается изменчивость ряда физико-химических признаков последних.



Рисунок 2. Вид территорий расположения объектов исследования на ключевом участке «Володарка» со стороны берегового обнажения р. Обь (фото автора).

Почвы. Вышеописанный ключевой участок был выбран с учетом комплексных многолетних исследований данной территории. В 2007 году в её границах было заложено 12 разрезов чернозёмов южных, вскрывающих верхнюю 40-см толщу, в местах с контрастными морфологическими свойствами почв. Из них было рассмотрено 11 разрезов, почвенные образцы для которых отбирали подробно сплошной колонкой с учётом визуальных границ генетических горизонтов каждые 5–10 см и (или) менее, согласно рекомендациям (Дергачева и др., 2002). Проводили их сравнение по основным аналитическим характеристикам и изменению с глубиной в пределах вскрытой толщи почв, а также по количественным характеристикам почвенных толщ: 0–10 см, 10–20 см и 20–40 см, в пределах каждой из которых отбирали, как правило, по два образца с учётом визуальных границ горизонтов.

Выявляли варьирование имеющих большое значение для плодородия почв C и N, а также состояние этих почв по другим физико-химическим свойствам: магнитной восприимчивости ($\chi \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/Г), $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, CaCO_3 , обменным основаниям – Ca^{2+} и Mg^{2+} , содержанию подвижных гумусовых веществ и соотношению в последних гуминовых кислот и фульвокислот. Рассмотрена также изменчивость содержания и соотношения основных групп гумусовых веществ в 40-см толще представителей чернозёмов, имеющих в пределах рассматриваемых мощностей включения разных горизонтов палеопочв, что позволяет учитывать их как для проведения реконструкции палеоприродной среды, так и обоснования прогнозов возможного изменения почв во времени (Дергачева, 2018).

Основные свойства почв изучали с использованием общепринятых в российском почвоведении методик исследования почв (Петербургский, 1958; Аринушкина, 1970; Воробьева, 1998): общий азот определен по Гинзбург; CO₂ карбонатов – по Шейблеру (Голубеву), рН водной вытяжки с помощью рН-метра АНИОН 4100, Россия (Аринушкина, 1970); общее содержание органического углерода (C_{орг}) – по Тюрину, фракционный состав гумуса – согласно методике В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (Методические указания..., 1975). Результаты, полученные по этой методике, как показала на большом аналитическом материале Н.В. Вашукевич (1996), являются репрезентативными. Данная модификация метода дает возможность определять и сравнивать почвы по характеристикам групп гумусовых веществ и их соотношению.

Измерение удельной магнитной восприимчивости почв проводили на приборе Kappabridge KLY-2 в лаборатории магнитных методов Института геофизики СО РАН под руководством З.Н. Гнибиденко. Образцы для определения предварительно просушивали на воздухе, растирали и пропускали через сито в 1 мм. Измерения МВ проводили в навеске 10 г и пересчитывали на 1 г массы воздушно-сухой почвы.

Математическая обработка полученных результатов проведена с использованием программ Microsoft Excel и STATISTICA 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Материалы исследования по варьированию свойств почв представляют не только исключительно научный, но и практический интерес, так как могут быть использованы при мониторинге почв и обосновании прогнозов их поведения в изменяющихся экологических условиях функционирования, а также при адаптации методов сельскохозяйственного их использования и охраны природы к конкретным характеристикам почвы на разных участках Приобского плато.

Исследование территории ключевого участка показало существенное варьирование морфологических свойств почв по ряду признаков. Мощность гумусированной толщи (горизонты А+АВ) колеблется от 3 до 52 см (табл. 1), её окраска может меняться с глубиной от тёмно-серой до буровато-серой и палевой с бурыми и палевыми пятнами.

Таблица 1

Морфолого-генетическая характеристика чернозёмов южных на ключевом участке «Володарка»

№ разреза	Мощность горизонта А+АВ, см	Структура		Глубина вскипания от НСl, см	Глубина максимума CaCO ₃ , см
		Горизонта А	Горизонта АВ		
1-07	32	комковатый	комковато-ореховатый	с поверхности	41–48
2-07	45	зернистый	мелко-ореховато-пылеватый, к низу непрочно-плитчатый	с поверхности	20–34
3-07	12	комковато-зернистый	комковато-ореховатый	с поверхности	40–47
4-07	3	зернистый	нет горизонта	с поверхности	5–24 32–40
6-07	25	комковато-зернистый	нет горизонта	с поверхности	29–41
7-07	52	непрочнореховатый	нет горизонта	с поверхности	56–62
8-07	48	комковато-ореховатый	нет горизонта	с поверхности	40–50
9-07	41	комковато-зернистый	комковато-зернистый	с поверхности	43–53
10-07	[A] _{Ca} – 14(30)	комковато-зернистый	нет горизонта АВ, есть [A] _{Ca} – зернистый	с поверхности	32–36
11-07	6	комковато-ореховатый	нет горизонта	с поверхности	8–15
12-07	[A ₁] ⁺ + [A ₁] ^{''} – 40(55)	комковато-зернистый	нет горизонта А+АВ, есть [A ₁] ⁺ + [A ₁] ^{''} – комковато зернистый	с поверхности	47–57

Глубина максимального вскипания от карбонатов варьирует от 5 до 62 см. Наблюдаются также различия в плотности, структуре горизонтов и форме карбонатов (Палеопочвы..., 2012). Кроме того, почвы могут отличаться по набору горизонтов, например, в разрезах 4-07, 6-07, 7-07, 8-07, 11-07 отсутствует горизонт АВ, а в разрезах 10-07 и 12-07 ниже горизонта А находятся горизонты палеопочв ($[A]_{Ca}$ и $[A_1'+A_1'']$ соответственно).

Выявленное варьирование почв по морфологическим признакам еще больше проявляется в аналитических характеристиках, таких как содержание общего органического углерода и азота, максимальное содержание $CaCO_3$, реакция среды, магнитная восприимчивость, обменные основания и подвижные гумусовые вещества.

Наиболее важным диагностическим признаком в почвах является содержание **общего органического углерода** ($C_{орг}$), распределение которого по горизонтам почвенного профиля специфично для типа почвы и обуславливает не только ее морфологические признаки, но также физико-химические и химические свойства (Завалин и др., 2018).

В исследованных почвах $C_{орг}$ варьирует в широких пределах – от 0,1 до 6,0% (рис. 3). Наибольшее его количество в верхней 10-см толще наблюдается в разрезе 2-07, наименьшее – в разрезе 4-07 (6,1 и 1,4%, соответственно), то есть в остальных изученных почвах оно лежит в этих пределах. Следующие 20 см почвенных профилей характеризуются значительно большей амплитудой колебаний содержания этого почвенного компонента (от 0,2 до 3,7%), а на глубине 20–40 см эта величина изменяется в пределах 0,1–2,8%.

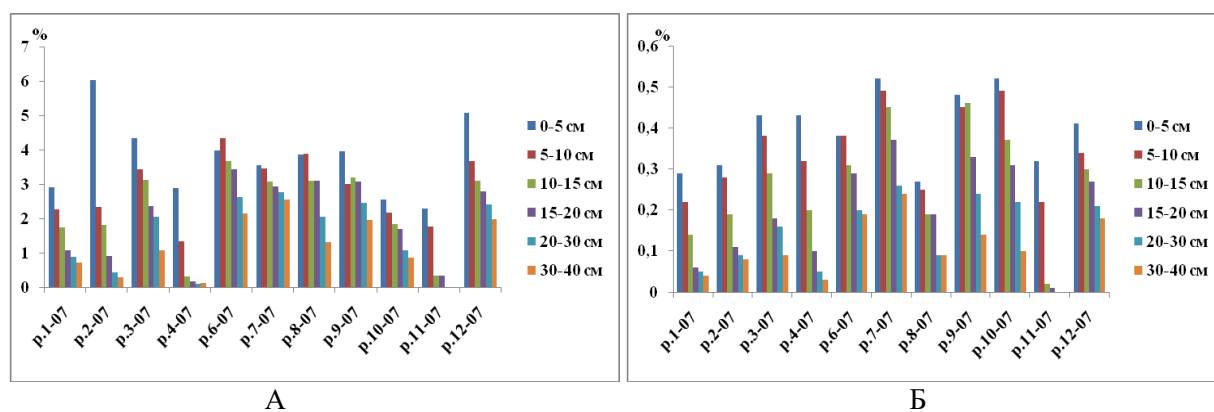


Рисунок 3. Изменчивость содержания общего органического углерода (А) и общего азота (Б) в верхней 40-см толще почв.

Распределение $C_{орг}$ с глубиной выявляет ещё больше различий в накоплении углерода в разных почвах, что иллюстрируется характером внутрипрофильного изменения органического углерода при подробном (каждые 2–5, но не более 10 см, с учетом морфологических границ горизонтов) отборе почвенных образцов (рис. 4). Так, в ряде разрезов (2-07, 4-07, 11-07) наблюдается резко убывающий характер распределения общего органического углерода. Например, в разрезе 4-07 в целом невысокое содержание $C_{орг}$ в горизонте A_d (2,9%) резко сокращается книзу и на глубине 5–16 см составляет не более 0,3%. Аналогичное распределение $C_{орг}$ наблюдается в разрезе 2-07, где резкое снижение выявлено с глубины 20–28 см, а также в разрезе 11-07 (с глубины 8–15 см), т.е. в средней части профиля. В то же время, в остальных разрезах содержание общего органического углерода вниз по профилю уменьшается постепенно. В большинстве из них (р. 3-07, 6-07–9-07) высокогумусированной является 40-см толща почвы, где содержание этого почвенного компонента не снижается менее 1,0%, в редких случаях составляя более 2,5%. В целом, на глубине 20–40 см эта величина не выходит за рамки значений от 0,11 до 2,7%.

Таким образом, изученные почвы существенно различаются не только по содержанию общего органического углерода, но также по характеру его распределения внутри профиля: амплитуда его колебаний варьирует с глубиной (см. рис. 3, 4).

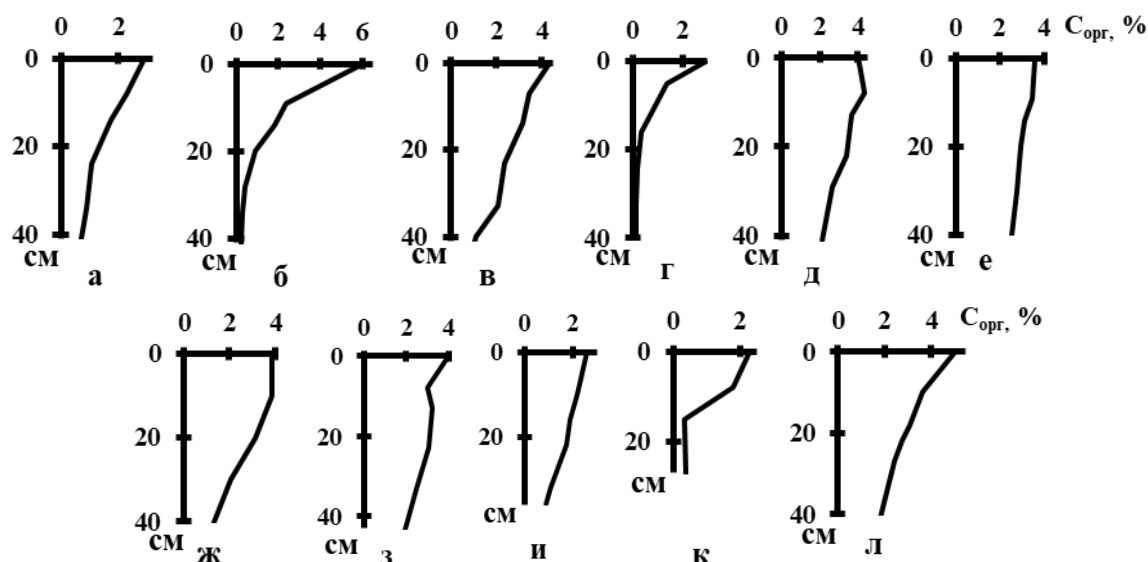


Рисунок 4. Изменение с глубиной содержания общего органического углерода ($C_{орг}$), разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07.

С органическим веществом почвы связано основное количество азота почвы, который служит существенным показателем направленности и результативности почвообразовательного процесса, на что указывал еще И.В. Тюрин (1937). Запасы $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в почвах служат определяющим фактором их плодородия, поэтому выявлению содержания и особенностям распределения этих элементов должно уделяться, как правило, повышенное внимание.

Изучение в исследованных почвах содержания общего азота на глубине 0–10 см, 10–20 см и 20–40 см показало аналогичное его варьирование с $C_{орг}$ (рис. 5, см. также рис. 3). В почве, вскрытой разными разрезами, содержание азота на глубине 0–10 см лежит в пределах 0,22–0,52%, тогда как на глубинах 10–20 см и 20–40 см – в пределах 0,06–0,46 и 0,03–0,26%, соответственно. Количество азота с глубиной во всех разрезах снижается постепенно и не выходит за пределы 0,52–0,06% (рис. 5).

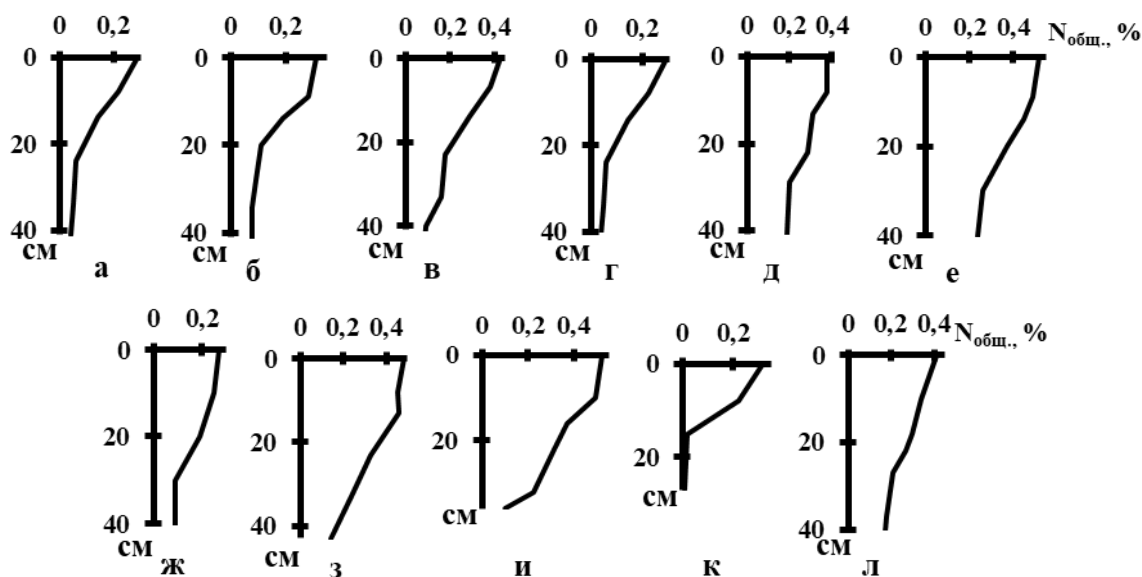


Рисунок 5. Изменение с глубиной содержания общего азота ($N_{общ}$), разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07.

Данные по содержанию общего азота в изученных почвах подтвердили, что его уменьшение по профилю аналогично изменению содержания гумуса с глубиной. Распределение по почвенному профилю, как азота, так и углерода, в целом взаимосвязано, причем концентрирование их в отдельных генетических горизонтах зависит от биоклиматических условий, в которых формируется почва (Орлов, 1985). Именно отношение C:N в почвах чаще всего используется при оценке их потенциального плодородия.

В целом, величина C:N отражает насыщенность гумуса азотом; при этом её изменение связано с относительным содержанием в гумусе богатых углеродом гуминовых кислот, увеличение доли которых вызывает расширение отношения C:N (Кононова, 1963; Пономарева, Плотникова, 1980).

Хотя изменение содержания углерода и азота по профилю изученных почв происходит параллельно, количественные характеристики их изменения с глубиной различаются, что приводит к сужению соотношения C:N (Завалин и др., 2018).

Величина C:N в большинстве изученных почв имеет флуктуирующий характер (рис. 6). В целом, по вертикальному профилю она в ряде разрезов возрастает, увеличиваясь с 6–12 в верхних горизонтах до 10–21 – на глубине 30–40 см (например, пр. 1-07, 3-07, 6-07, 7-07, 9-07, 10-07, 11-07), в остальных – уменьшается от 8–23 до 4–13.

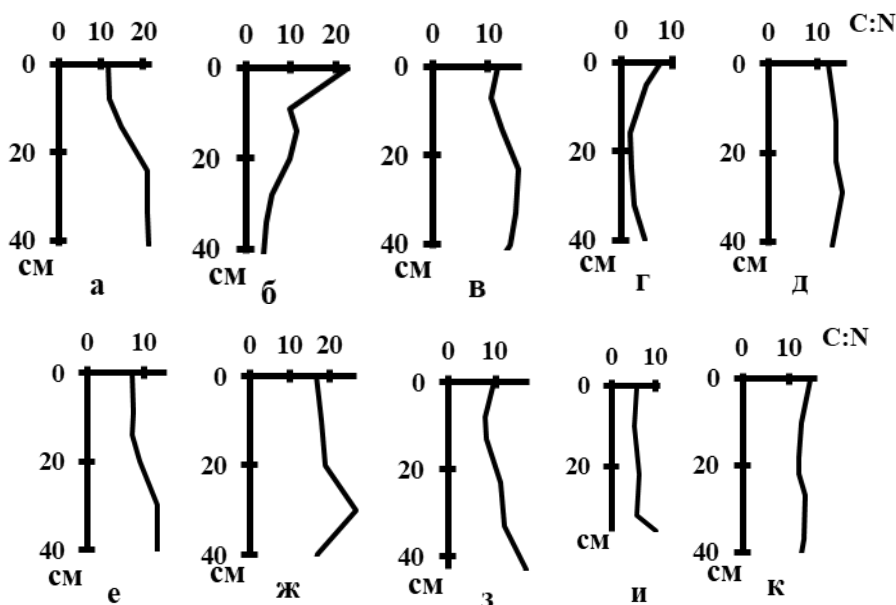


Рисунок 6. Изменение с глубиной соотношений C:N (по массовой доле), разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 12-07.

Таким образом, изученные чернозёмы имеют разное содержание и распределение по профилю основных компонентов почв – общего органического углерода и общего азота.

Содержание и распределение карбонатов кальция также является весьма значимым и надёжным признаком при диагностике почвообразования и восстановлении биоклиматических условий прошлых эпох (Палеопочвы..., 2012). Уже самые верхние горизонты изучаемых почв содержат карбонат кальция (CaCO_3), хотя и в очень небольших количествах (рис. 7). Содержание CaCO_3 в почвах, вскрытых разными разрезами, лежит в пределах 0,4–17%. Если вскипание от соляной кислоты, показывающее присутствие карбонатов кальция в почвенной толще, начинается в пределах горизонта А (чаще всего в изученных разрезах – с поверхности), то максимальное их количество во всех профилях выявляется на разных глубинах, и, как правило, сопряжено с гумусонакоплением в вышележащей толще (см. табл. 1). В большинстве разрезов максимумы содержания карбонатов кальция находятся в пределах рассматриваемой 40-см толщи, за исключением разрезов 7-07, 9-07 и 12-07, в которых, согласно морфологическим описаниям (см. табл. 1), максимум карбонатов лежит за ее пределами.

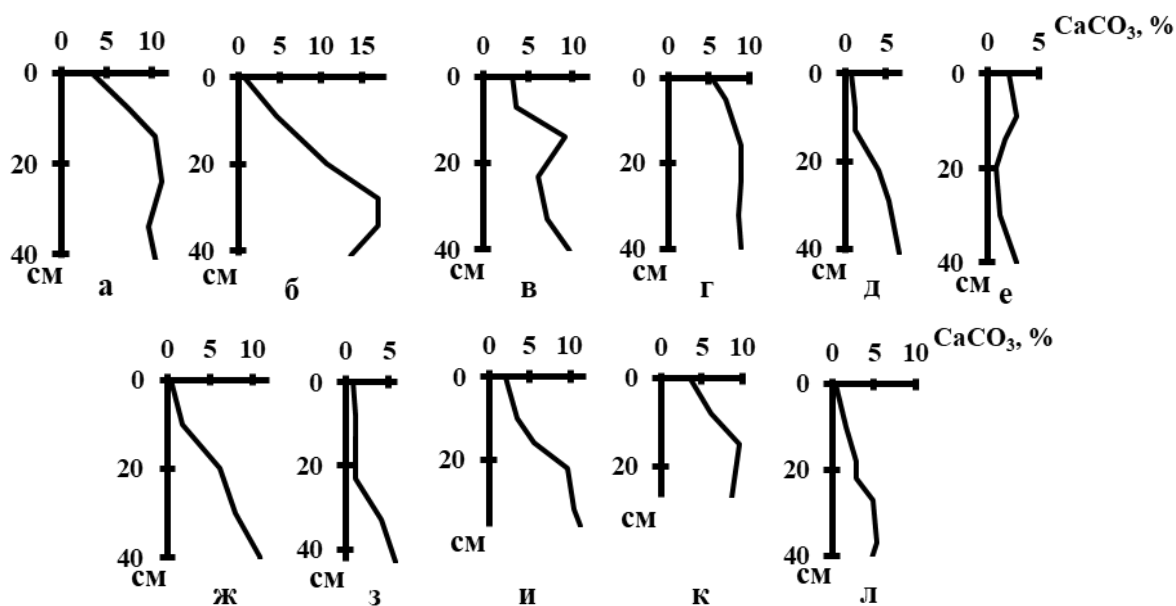


Рисунок 7. Изменение с глубиной содержания карбонатов кальция (CaCO_3), разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07.

В последние десятилетия в комплекс характеристик почв разных условий формирования и разного геологического возраста все чаще вводится **магнитная восприимчивость (МВ)** почв (Бабанин, 1972; Ломов, Пеньков, 1979; Алексеев и др., 1988; Бабанин и др., 1995; Дергачева, 1997, 2018; Дервянко, Дергачева, 1998; Палеопочвы..., 2012; Вагапов, Алексеев, 2015; Чевычелов и др., 2021; Mullins, 1977; Maher, 1998; Jong et al., 2000; Alekseeva et al., 2007; и др.), которая является одним из значимых признаков при диагностике и сравнительных сопоставлениях почв. Особенности распределения внутри профиля общего органического углерода в разных типах автоморфных почв, в целом, аналогичны величине их магнитной восприимчивости (Бабанин, 1972; Бабанин и др., 1995; Соловьева, 1999; и др.). В случае гидроморфных почв распределение С и магнитной восприимчивости могут иметь обратный характер, так как в условиях гидроморфизма магнитные минералы переходят в немагнитные (путем лимонитизации). В нашем случае (рис. 8, см. также рис. 3 А) наблюдается, в целом, согласованное изменение общего органического углерода и удельной магнитной восприимчивости ($\chi \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г).

Величина МВ в разных разрезах неоднозначна. В большей части вскрытых толщ она более $1,5 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г, достигая в некоторых разрезах в верхних горизонтах $2,5\text{--}3,0 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г, в других – колеблется от величин меньше единицы до $1,3 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г. Самая низкая магнитная восприимчивость и резкое ее уменьшение по профилю наблюдается в почве, вскрытой разрезом 4-07 ($0,7 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г), самая высокая – в разрезе 8-07, где она достигает $2,5\text{--}3,0 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г (рис. 8). Как показывают материалы изменения МВ с глубиной, разрезы отличаются неодинаковым характером изменения этого почвенного свойства. В одних профилях (pp. 3-07, 6-07, 10-07, 11-07, 12-07) выявлено равномерное убывание МВ книзу, в других (pp. 1-07, 2-07, 7-07, 9-07) – с её максимумом или минимумом в средней части профиля (иногда с несколькими максимумами), что свидетельствует о возможном присутствии гумусовых горизонтов палеопочв.

Изменение в почвенных профилях реакции среды также неоднозначно, хотя в целом величина $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ находится в согласии с распределением карбонатов кальция и других характеристик почвенной массы, что подтверждает полигенетичность некоторых почв (рис. 9). В почвах, вскрытых разными разрезами, реакция среды в верхней части профиля слабощелочная, с глубиной изменяется до пределов щелочного диапазона. Колебания $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ внутри профиля встречается редко. Как правило, происходит постепенный сдвиг реакции среды в сторону повышения щелочности.

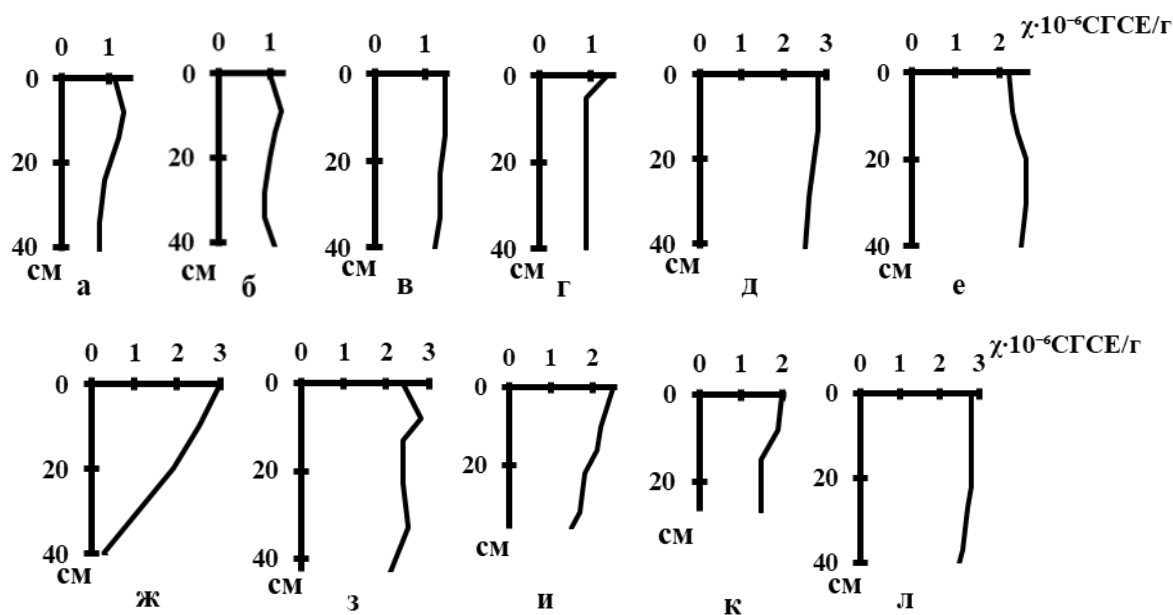


Рисунок 8. Изменение с глубиной величины магнитной восприимчивости, разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07.

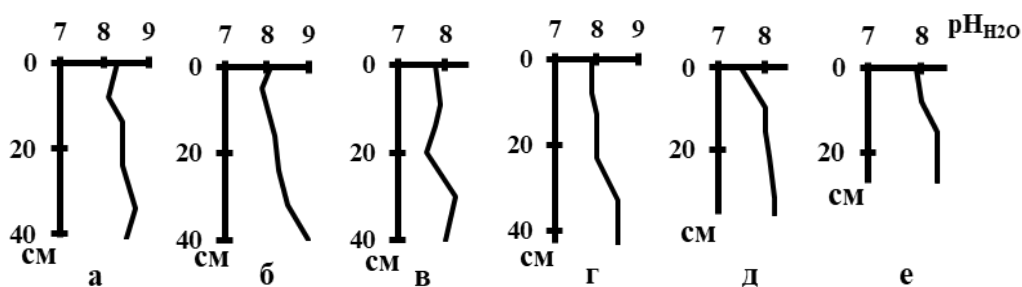


Рисунок 9. Изменение по профилю реакции почвенной среды, разрезы: а – 1-07; б – 4-07; в – 7-07; г – 9-07; д – 10-07; е – 11-07.

Чернозёмы Приобского плато отличаются относительно высоким содержанием суммы обменного кальция и магния ($\Sigma\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$), которое составляет 37–50 мг-экв/100 г почвы. Такая особенность не свойственна ни черноземам пониженных озерно-аллювиальных равнин Западной Сибири, ни даже типичным мощным черноземам Средне-Русской возвышенности, в которых их сумма чаще всего не превышает 30 мг-экв/100 г почвы (Хмелев, 1989; Хмелев, Танасиенко, 1983). В пределах изученных почвенных профилей содержание обменных кальция и магния варьирует с глубиной также существенно (рис. 10). В составе поглощённых катионов изученных чернозёмов значительно преобладает обменный кальций (Ca^{2+}); только в нижележащих горизонтах некоторых почв содержание обменного магния (Mg^{2+}) или близко к содержанию кальция (р. 9-07), или, как в разрезе 4-07, он преобладает (рис. 10). Повышенные количества магния, судя по мониторинговым исследованиям, встречаются крайне редко (Захарова, 2011). Отсутствие засоления почв на этих территориях отмечали ранее (Почвы..., 1959; Дергачева и др., 2011; и др.).

Изученные почвы различаются также по содержанию подвижных гумусовых веществ, которые играют существенную роль в обеспечении устойчивого снабжения растительных сообществ степных экосистем питательными веществами (Лыков, 1985; Гамзиков, Кулагина, 1992; Ковриго и др., 2000; Бурлакова, Морковкин, 2003, 2005; Скороходов, Зенкова, 2019; Бурлакова, 2022). Наиболее активной фракцией гумусовых веществ, участвующей в питании растений, являются бурые гуминовые кислоты и связанные с ними в комплекс фульвокислоты, т.е. гумусовые вещества фракции 1. Эти вещества обычно выделяются экстракцией 0,1 н. NaOH и разделяются на **гуминовые кислоты (ГК)** и **фульвокислоты (ФК)** в кислой среде с $\text{pH}=1-2$ (Лыков, 1985). Они являются важнейшим резервом питательных элементов для растительных и микробных сообществ, а также источником энергии микробиологических и других процессов в почвах, важных для сохранения и поддержания плодородия почв.

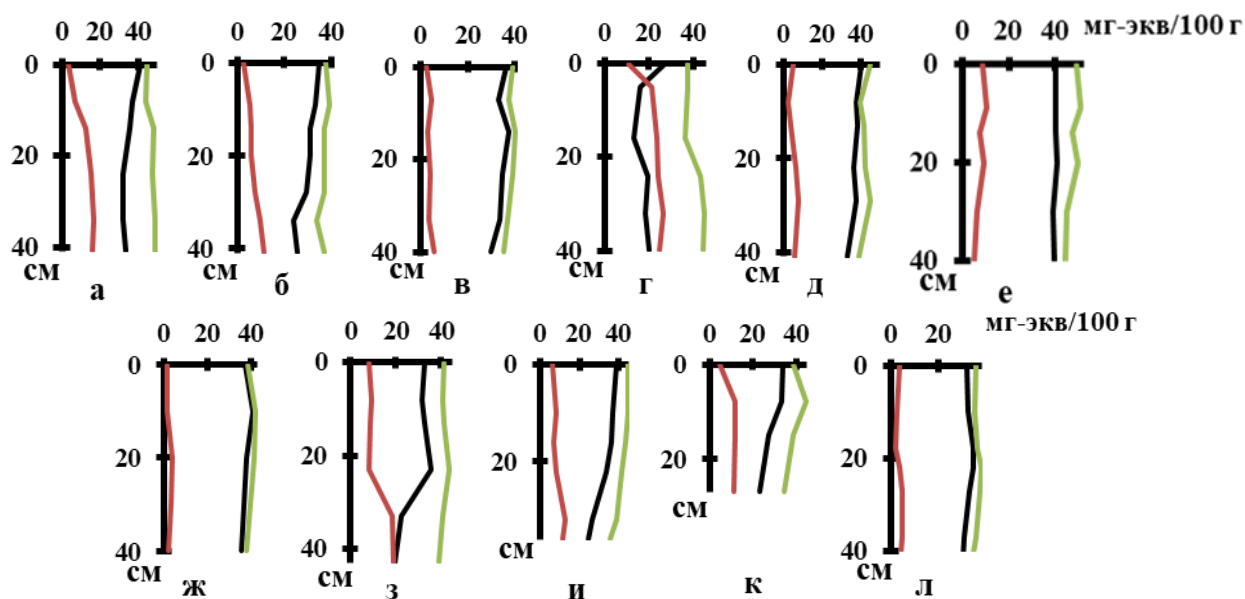


Рисунок 10. Изменение с глубиной содержания обменных оснований, разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07. Обозначения: — Ca^{2+} ; — Mg^{2+} ; — $\Sigma\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$.

Содержание подвижных гумусовых веществ в изученных образцах из 11 разрезов, расположенных в разных концах ключевого участка, в целом не велико (не больше 21%), среди них преобладают фульвокислоты и, соответственно, соотношение $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$ – меньше 1,0 (рис. 11). Количественные показатели этого соотношения варьируют не только с глубиной внутри профиля, но и между разными разрезами. Пределы колебаний величины $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$ среди всех изученных образцов не выходят за рамки 0,07–0,92. Наименьшие значения этого отношения выявлены в разрезах 7-07 и 9-07, наибольшие – в разрезах 4-07, 11-07 и 12-07. Анализ изменения подвижных гумусовых веществ с глубиной показал абсолютное преобладание в гумусовых веществах ФК над ГК во всех горизонтах, варьирование величины соотношения этих компонентов гумуса, а также существенные амплитуды колебаний величины $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$ внутри профиля (см. рис. 11).

Как видно, перепад содержания подвижных ГК и ФК в почвенной толще каждого из изученных объектов – существенный. Наибольшие колебания между разными профилями для этих компонентов гумуса наблюдаются на глубине 30–40 см.

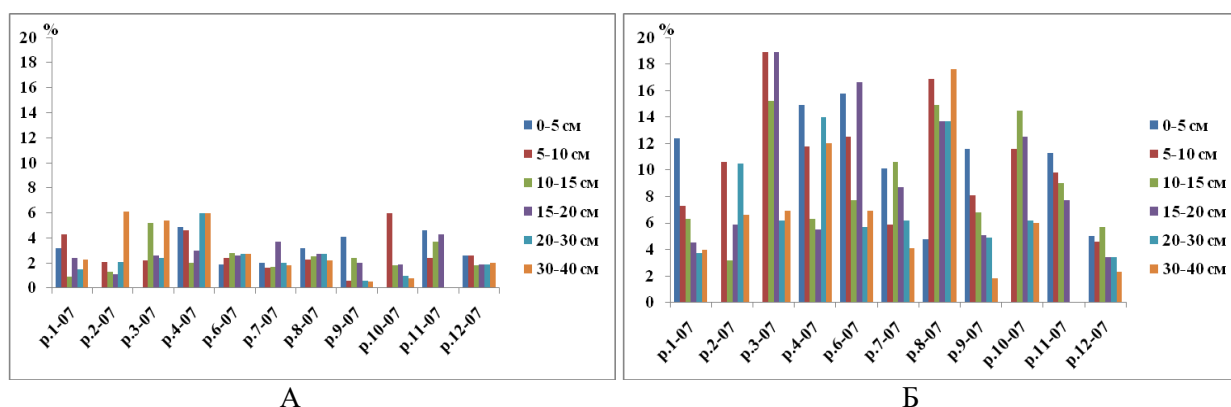


Рисунок 11. Варьирование содержания подвижных гумусовых веществ в верхней 40-см толще почв. Обозначения: А – гуминовые кислоты; Б – фульвокислоты.

Поскольку среди гумусовых веществ важное значение для плодородия почв имеют не только их подвижные, но и другие фракции, обеспечивающие структурность и порозность почв, тепловой, водный и другие режимы, рассмотрим особенности состава гумуса почв с разным характером изменений физико-химических и химических свойств по профилю на примере четырех наиболее различающихся разрезов (1-07, 4-07, 7-07 и 9-07).

В первых из изученных разрезов (1-07, 4-07) в составе гумуса преобладают фульвокислоты, в последних – 7-07 и 9-07 – гуминовые кислоты (рис. 12, А, Б). Содержание суммы гуминовых и фульвокислот по профилю в них неоднозначно в разных разрезах, причем различия их существенны: для первого компонента от 8,9 до 41,7%, для вторых – от 12,1 до 51,1%. Величина их соотношения ($C_{гк}:C_{фк}$) в разных разрезах неоднозначна (рис. 12, В). В разрезе 4-07 она только в верхнем горизонте несущественно превышает единицу, затем с глубиной резко уменьшается до 0,25. В разрезе 1-07 даже в горизонте А этот показатель составляет 0,7. В то же время, разрезы 7-07 и 9-07 имеют толщи с более высокими значениями $C_{гк}:C_{фк}$, которые могут превышать 2,5 в разных частях гумусово-аккумулятивной толщи, а на остальных глубинах не снижаться ниже 1,0. Наибольшая неоднородность почвенного профиля по составу гумуса выявлена в разрезе 7-07, где на фоне, в целом, постепенного снижения общего органического углерода, содержание и соотношение групп гумусовых веществ имеет возрастающе-убывающий характер.

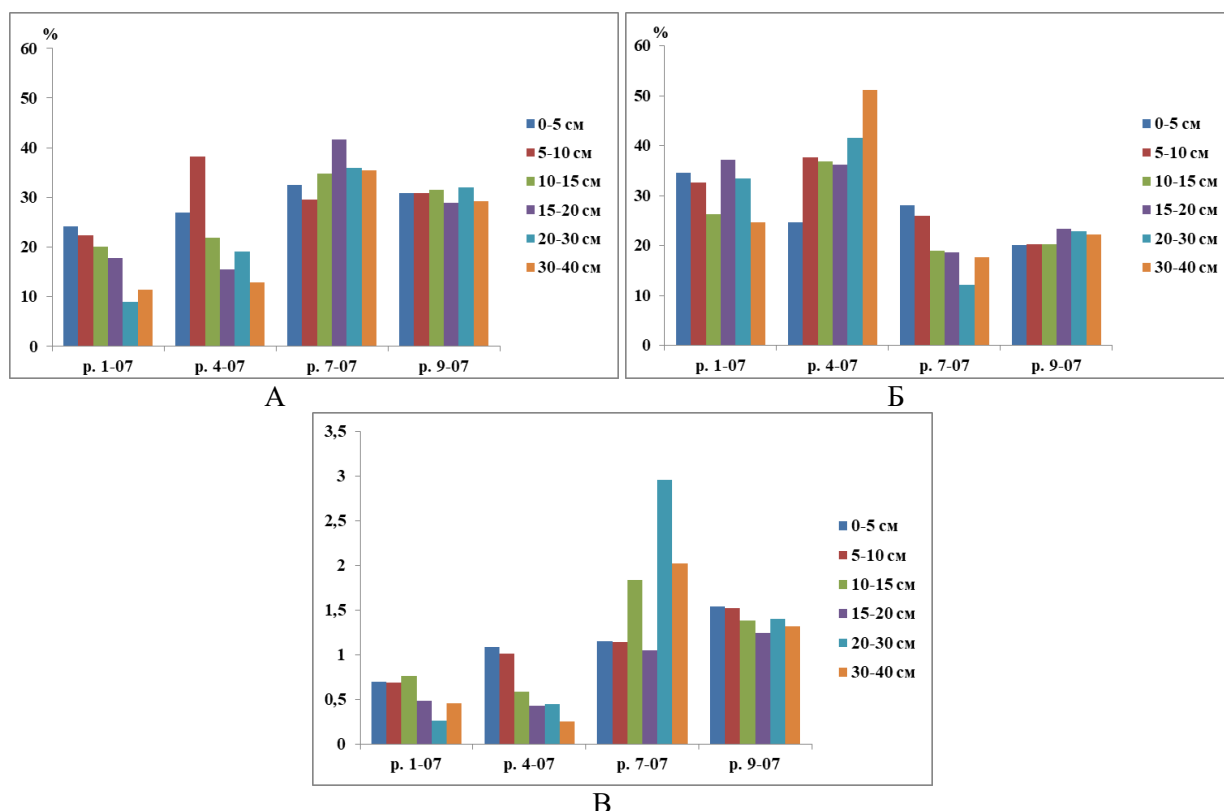


Рисунок 12. Варьирование группового состава гумуса в верхней 40-см толще почв. Обозначения: А – сумма гуминовых кислот; Б – сумма фульвокислот; В – отношение углерода гуминовых кислот к фульвокислотам.

Таким образом, варьирование свойств почв, проявляющееся в количественной неоднозначности и в разном характере изменения разных показателей с глубиной, проявляется также в неоднородности состава их гумуса, соотношении основных компонентов системы гумусовых веществ, в том числе, содержании и соотношении компонентов подвижных гумусовых веществ.

Существенная неоднородность черноземов Приобского плато подтверждается величинами среднестатистических параметров почвенных свойств и высокими значениями коэффициентов варьирования для большинства характеристик (табл. 2). Исключение составляет величина обменного Ca^{2+} во всей 40-см толще и содержание $N_{общ}$ на глубине 0–10 см, где эти величины свидетельствуют о небольшой изменчивости признака. Наибольшие колебания всех показателей во всех разрезах наблюдаются, как правило, на глубине 10–20 или 20–40 см, кроме содержания обменного Mg^{2+} , коэффициент варьирования которого очень существенный и примерно одинаковый (около 70%) на всех изученных глубинах.

Таблица 2

Основные характеристики почв «Володарки»

Показатели	Среднее ± стандартное отклонение для слоя			Коэффициент варьирования (%) для слоя		
	0–10 см	10–20 см	20–40 см	0–10 см	10–20 см	20–40 см
	$C_{орг}$	3,3 ± 1,11	2,11 ± 1,15	1,50 ± 0,90	32,7	53,1
$N_{общ}$	0,37 ± 0,10	0,23 ± 0,13	0,14 ± 0,08	25,3	56,3	53,3
C:N	11,17 ± 4,50	11,72 ± 6,02	12,79 ± 6,20	39,8	51,1	47,3
Ca^{2+}	34,83 ± 5,50	32,85 ± 6,78	30,00 ± 6,60	15,8	20,2	21,5
Mg^{2+}	6,39 ± 4,58	8,43 ± 6,03	10,55 ± 7,35	69,9	69,9	67,9
ГК подвижные	3,00 ± 1,43	2,34 ± 1,85	2,64 ± 1,79	46,6	35,6	66,3
ФК подвижные	10,76 ± 4,35	8,76 ± 4,18	7,14 ± 4,25	37,4	49,2	58,0

Наблюдаемая неоднородность свойств почв ключевого участка «Володарка», несомненно, будет сказываться и на почвенном плодородии. Для оценки влияния варьирования почвенных свойств этой территории на плодородие почв были оценены некоторые показатели гумусного состояния почв (согласно Д.С. Орлову и др., 2004), которые наиболее всего отражают уровень почвенного плодородия: степень гумификации и запасы гумуса (табл. 3), а также запасы азота и обогащенность им гумусовых веществ в слоях почвы 0–20 см, 20–40 см, 0–40 см (табл. 4).

Полученные данные показывают, что степень гумификации в разрезах 7-07 и 9-07 высокая во всех изученных толщах, а в разрезах 1-07 и 4-07 она изменяется на разных глубинах от средней до слабой. Наибольшие колебания этой величины для разных разрезов наблюдаются на глубине 20–40 см и находятся в пределах от 10,1 до 35,7. Запасы гумуса в 40-см толще колеблются от низких до очень высоких, составляя 109–534 т/га (см. табл. 3). Во всех изученных толщах наиболее высокие запасы гумуса выявлены в верхних 20 см почвы, но амплитуда колебаний достигает наибольшей величины на глубине 20–40 см, что подтверждается высоким коэффициентом варьирования (47,79%). Среди изученных, есть разрезы (2-07, 4-07), которые характеризуются очень низкими запасами гумуса в слое почвы 20–40 см.

Таблица 3

Варьирование степени гумификации и запасов гумуса в почвах «Володарки»

№ разреза	Степень гумификации*			Запасы гумуса, т/га**		
	0–20 см	20–40 см	0–40 см	0–20 см	20–40 см	0–40 см
1-07	21,1 ср.	10,1 слаб.	15,6 слаб.	166,6 выс.	72,1 низк.	238,7 ср.
2-07	–***	–	–	230,8 оч. выс.	30,0 оч. низк.	260,7 ср.
3-07	–	–	–	276,1 оч. выс.	139,7 ср.	415,8 выс.
4-07	25,6 ср.	16,0 слаб.	20,8 ср.	98,7 низк.	10,2 оч. низк.	108,9 низк.
6-07	–	–	–	321,4 оч. выс.	212,6 оч. выс.	534,0 оч. выс.
7-07	34,6 выс.	35,7 выс.	35,2 выс.	271,1 оч. выс.	236,6 оч. выс.	507,7 оч. выс.
8-07	–	–	–	301,4 оч. выс.	150,78 выс.	452,1 выс.
9-07	30,6 выс.	30,6 выс.	30,6 выс.	275,5 оч. выс.	196,6 выс.	472,1 выс.
10-07	–	–	–	171,8 выс.	86,3 низк.	258,1 ср.
11-07	–	–	–	136,3 ср.	–	136,3 низк.
12-07	–	–	–	304,3 оч. выс.	195,7 выс.	500,1 оч. выс.
Среднестатистические величины				232,18±76,31	195,70±79,57	353,14±156,02
Коэффициент варьирования, %				31,34	47,79	42,12

Примечание.

*Степень гумификации: слаб. – слабая; ср. – средняя; выс. – высокая.

**Запасы гумуса: оч. низк. – очень низкие; низк. – низкие; ср. – средние; выс. – высокие; оч. выс. – очень высокие.

***Тире – отсутствие данных.

Обогащенность гумуса азотом в 40-см толще изменяется от очень низкой до очень высокой и находится в пределах 20,0–6,9 (табл. 4). Запасы азота в изученных разрезах на разных глубинах не превышают 27 т/га. Наибольшее варьирование обогащенности гумуса азотом и запасов азота наблюдается аналогично запасам гумуса – на глубине 20–40 см, где коэффициенты варьирования больше, чем в верхней 20-см толще почвы.

Таблица 4

Варьирование запасов общего азота в почвенных профилях ключевого участка «Володарка»

№ разреза	Обогащенность гумуса азотом			Запасы азота, т/га		
	0–20 см	20–40 см	0–40 см	0–20 см	20–40 см	0–40 см
1-07	14,8	21,1	17,9	5,92	3,84	9,76
2-07	13,3	4,7	9,0	6,84	5,76	12,60
3-07	12,6	14,5	13,6	9,40	9,02	18,42
4-07	4,2	3,7	3,9	8,70	5,76	14,46
6-07	13,3	14,3	13,8	8,82	11,52	20,34
7-07	8,4	12,4	10,4	11,72	15,74	27,46
8-07	18,0	22,0	20,0	6,03	5,38	11,41
9-07	9,1	14,1	11,6	10,79	15,17	25,96
10-07	5,8	7,9	6,9	11,72	13,06	24,78
12-07	12,8	13,2	13,0	8,70	10,94	19,64
Среднестатистические величины	11,23±4,25	12,79±6,08	12,04±4,81	8,86±2,14	9,62±4,30	18,48±6,31
Коэффициент варьирования, %	35,94	45,12	38,06	22,88	41,20	32,37

По каждому из изученных показателей гумусного состояния почв наблюдаются в основном высокие значения коэффициентов варьирования (больше 30%). Исключение составляют запасы азота на глубине 0–20 см, где среднестатистические значения составляют $8,86 \pm 2,14$, а коэффициент варьирования – 23%.

Сопоставление изученных почв по всем характеристикам и их изменению с глубиной показало значительное флуктуирование количественных показателей всех почвенных свойств. Морфологические различия по окраске, плотности, структуре, неоднородности гумусового горизонта и лежащей под ним толщи, проявляющиеся в изученных почвах, объясняются тем, что на рассматриваемой территории современный гумусовый горизонт часто формируется на разных горизонтах (в том числе в горизонте [A]) палеопочв разного возраста, выходящих под влиянием экзогенных процессов на поверхность. В ряде разрезов под современной частью гумусового горизонта по плотности и несколько другому оттенку выявляется присутствие более древнего гумусового горизонта. Выявленное нарушение закономерностей изменения основных характеристик по профилю, присущих почвам черноземного ряда, происходит из-за того, что рассматриваемая их 40-см толща содержит разные горизонты, сформированные не только в современный период, но и переработанные педогенезом в прошлом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие современных почв на отложениях, переработанных древними процессами почвообразования в прошлом, обуславливает неоднородность их свойств. Варьирование свойств чернозёмных почв северо-восточной части Приобского плато объясняется сложной историей формирования территории и, в связи с этим, наличием в профилях остаточных признаков палеопедогенеза, которые могут присутствовать в виде педоседиментов, дериватов или хорошо сохранившихся горизонтов. Поэтому знание специфики современных почв на сложных территориях из-за их истории развития и знание варьирования их свойств должны учитываться при оценке потенциального плодородия земельных ресурсов подобных территорий. Почвенные свойства, обладая значительной пространственной неоднородностью даже на небольших площадях, формируют разные условия для режимов питания растительных сообществ. С точки зрения сельскохозяйственного производства создаются разные условия для роста и развития выращиваемых культур, что является отрицательным фактором, так как требует дифференцированного подхода к технологиям их возделывания. Подробное изучение исходных свойств почв позволяет получать данные о пространственной и временной изменчивости параметров почвенного плодородия и воздействовать на них в нужном месте и в необходимом направлении. Оценка варьирования показателей почвенных свойств, в связи с развитием адаптивно-ландшафтного земледелия, способствует принятию оптимальных решений при реализации стратегии точного земледелия.

Информация, полученная при изучении варьирования свойств почв, может использоваться, кроме того, при диагностике палеопочв и реконструкции палеоприродной среды, а также при

мониторинге современного состояния почв и обосновании прогнозов их поведения в изменяющихся экологических условиях функционирования.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 121031700309-1).

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев А.О., Ковалевская И.С., Моргун Е.Г., Самойлова Е.М. Магнитная восприимчивость почв сопряженных ландшафтов // Почвоведение. 1988. № 8. С. 27–35.

Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: МГУ, 1970. 487 с.

Арманд А.Д., Таргульян В.О. Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии (принцип дополнительности и характерное время) // Известия АН СССР. Серия географическая. 1974. № 4. С. 129–138.

Бабанин В.Ф. Магнитная восприимчивость основных почвенных типов СССР и использование ее в почвенных исследованиях: Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Москва, 1972. 25 с.

Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв. Ярославль: Ярослав. гос. тех. ун-т, 1995. 222 с.

Бандыч Т.Ю. О современном подходе к изучению неоднородности почвенного покрова // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 2 (57). С. 56–67.

Белик А.В., Горбунова Ю.С., Девятова Т.А., Алаева Л.А. Пространственное варьирование показателей экологического состояния дерново-лесных почв Усманского бора // Лесотехнический журнал. 2020. Том 10. № 3 (39). С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.3/1>.

Бурлакова Л.М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза. Барнаул: РИО АГАУ, 2022. 203 с.

Бурлакова Л.М., Морковкин Г.Г. Современное состояние плодородия черноземов Алтайского края и проблема их рационального использования // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2003. № 5. С. 49–50.

Бурлакова Л.М., Морковкин Г.Г. Антропогенная трансформация почвообразования и плодородия черноземов в системе агроценозов // Агрохимический вестник. 2005. № 1. С. 2–4.

Вагапов И.М., Алексеев А.О. магнитная восприимчивость в оценке пространственной и профильной неоднородности почв, обусловленная палеоэкологическими факторами // Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 5. С. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-5-99-106>.

Вашукевич Н.И. Органическое вещество голоцен-плиоценового хроноряды почв Предбайкалья: Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1996. 14 с.

Воробьева Л.А. Химический анализ почв. Москва: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.

Гамзиков Г.П., Кулагина М.Н. Изменение содержания гумуса в почвах в результате сельскохозяйственного использования. Москва: ВНИИТЭИагропром, 1992. 49 с.

Денисова Н.В. Формы неоднородности почвенного покрова в черноземной зоне европейской части Союза. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Москва, 1974. 24 с.

Дергачева М.И. Археологическое почвоведение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 228 с.

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., Некрасова О.А., Лаврик Н.Л. Гуминовые кислоты современных почв Южного Урала: Препринт. Новосибирск, 2002. 24 с.

Дергачева М.И., Миронычева-Токарева Н.П., Пономарев С.Ю., Гаврилов Д.А. Общая характеристика района исследования и палеопочв // Материалы II Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск: ООО «Талер-Пресс», 2011. С. 9–27.

Дервянко А.П., Дергачева М.И. Магнитная восприимчивость в археологии палеолита: к вопросу о реконструкции палеоклиматов // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 1998. С. 110–119.

- Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. Москва: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
- Жуков А.В., Задорожная Г.А. Пространственная изменчивость твердости рекультивируемых почв // Принципы экологии. 2017. № 3 (24). С. 66–80.
- Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Азот в агросистеме на черноземных почвах. Москва: РАН, 2018. 180 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.
- Качинский Н.А. Изучение физических свойств почвы и корневых систем растений при территориальных почвенных исследованиях. Москва: Госсельиздат, 1930. Ч. 1. 101 с.
- Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. Москва: Колос, 2000. 416 с.
- Козловский Ф.И. Почвенный индивидуум и методы его определения // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. Москва: Наука, 1970. С. 42–59.
- Кононова М.М. Органическое вещество почвы. Москва: Изд-во АН СССР, 1963. 313 с.
- Красильников П.В., Таргульян В.О. На пути к «Новой географии почв»: вызовы и решения (обзор) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 131–139. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020096>.
- Крупкин П.И., Топтыгин В.В. Совершенствование способов бонитировки почв (на примере Красноярского края) // Почвоведение. 1999. № 12. С. 1481–1491.
- Литвинович А.В. Пространственная неоднородность агрохимических показателей пахотных дерново-подзолистых почв // Агрехимия. 2007. № 5. С. 89–94.
- Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. 2011. № 4. С. 89–94.
- Ломов С.П., Пеньков А.В. Магнитная восприимчивость некоторых современных и ископаемых почв Таджикистана // Почвоведение. 1979. № 6. С. 100–109.
- Лыков А.М. Гумус и плодородие почвы. Москва: Московский рабочий, 1985. 192 с.
- Максимова Н.Б. Изменение структурного состава черноземов и каштановых почв по природным зонам юго-запада Алтайского края при длительном использовании в составе пахотных угодий // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 5. С. 71–75.
- Махонина Г.И. Начальные процессы почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Автореферат диссертации ... д-ра биол. наук. Томск, 2004. 38 с.
- Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах / Составители: В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. Ленинград: ЛГУ, 1975. 105 с.
- Михеева И.В. Вероятностно-статистические модели свойств почв (на примере каштановых почв Кулундинской степи). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 200 с.
- Михеева И.В. Изменение пространственной вариабельности свойств почвы при антропогенном воздействии // Почвоведение. 1997. № 1. С. 102–109.
- Морев Д.В. Агроэкологическая оценка земель в условиях зонального ряда агроландшафтов с повышенной пестротой почвенного покрова. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Москва, 2017. 25 с.
- Морковкин Г.Г. Антропогенная трансформация почвообразования и плодородия черноземов в системе агроценозов (на примере степной зоны Алтайского края). Барнаул: РИО АГАУ, 2012. 271 с.
- Морковкин Г.Г., Байкалова Т.В., Максимова Н.Б., Овцинов В.И., Литвиненко Е.А., Дёмина И.В., Дёмин В.А. Оценка временной динамики структуры агроландшафтов и показателей плодородия почв степной зоны Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 9 (107). С. 33–42.
- Мудрых Н.М. Пространственное варьирование свойств в агродерново-подзолистой почве // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. С. 82–84.
- Орлов Д.С. Химия почв. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.

- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
- Палеопочвы, природная среда и методы их диагностики / отв. ред. Г.В. Добровольский, М.И. Дергачева. Новосибирск: ЗАО «ОФСЕТ», 2012. 264 с.
- Петербургский А.В. Практикум по агрономической химии. Москва: Сельхозгиз, 1958. 550 с.
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Ленинград: Наука, 1980. 221 с.
- Почвы Алтайского края. Москва: Изд-во АН СССР, 1959. 380 с.
- Распынов В.А. Вариабельность свойств почв и их хозяйственная продуктивность в условиях подзоны обыкновенных черноземов умеренно-засушливой колочной степи Алтайского края. Диссертация ... канд. биол. наук. Барнаул, 1977. 172 с.
- Савич В.И., Гукалов В.В., Сорокин А.Е., Конах М.Д. Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 163–175. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-106-163-175>.
- Самсонова В.П. Пространственная вариабельность состава и свойств дерново-подзолистой почвы. Автореферат диссертации ... д-ра биол. наук. Москва, 2003. 51 с.
- Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств на примере дерново-подзолистых почв. Москва, 2008. 160 с.
- Скорыходов В.Ю., Зенкова Н.А. Образование и содержание гумуса на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Плодородие. 2019. № 6. С. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.111.08>.
- Скрипко В.В. Оценка эколого-геоморфологического состояния Приобского плато на основе бассейнового анализа. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015. 142 с.
- Соловьева Т.П. Магнитная восприимчивость почв Хакасии. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1999. 17 с.
- Спицына С.Ф., Бахарев В.Г. Варьирование валового содержания микроэлементов в почвах Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 4 (66). С. 27–30.
- Татаринцев В.Л. Агрогенная эрозия и физическое состояние почв Алтайского Приобья // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры её предупреждения: Тезисы докладов Всероссийской конференции (Москва, 16–18 июня 1998 г.). Москва, 1998. С. 46–47.
- Татаринцев Л.М. Физическое состояние основных пахотных почв юго-востока Западной Сибири. Диссертация ... д-ра. биол. наук. Новосибирск, 1993. 368 с.
- Тюрин И.В. Органическое вещество почв. Москва: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
- Фридланд В.М. Элементарные почвенные ареалы как исходные единицы почвенно-географической таксономии и некоторые их производные // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. Москва: Наука, 1970. С. 5–14.
- Хмелев В.А. Лёссовые черноземы Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 200 с.
- Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Черноземы Кузнецкой котловины. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 256 с.
- Чевычелов А.П., Алексеев А.А., Кузнецова Л.И. Магнитная восприимчивость мерзлотных почв лесной катены центральной Якутии // Сибирский лесной журнал. 2021. № 2. С. 32–42. DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20210203>.
- Энциклопедия Алтайского края. Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1995. Том 1. С. 350–367.
- Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. Vol. 249. P. 103–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.01.006>.
- Correa J.C., Klaus R. The Spatial Variability of Amazonian Soils under Natural Forest and Pasture // Geojournal. 1989. No. 4. P. 423–427.
- Coşkun G., İmanverdi E., Feride C., Zeynep D. Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field // Eurasian Journal Soil Science. 2016. No. 5 (3). P. 192–200. DOI: <https://doi.org/10.18393/ejss.2016.3.192-200>.
- Daughtry C.S.T., Hunt Jr. E.R., Doraiswamy P.C., McMurtrey III J.E. Remote sensing the spatial distribution of crop residues // Agronomy Journal. 2005. Vol. 97. P. 864–871. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0291>.

Jiao S., Li J., Li Y., Xu Z., Kong B., Li Y. & Shen Y. Variation of soil organic carbon and physical properties in relation to land uses in the Yellow River Delta, China // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. Article number: 20317. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77303-8>.

Jong E. de, Pennock D.J., Nestor P.A. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada // Catena. 2000. Vol. 40. Iss. 3. P. 291–305. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00080-1).

Maher B.A. Magnetic properties of modern soils and loessic paleosols: implications for paleoclimate // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1998. Vol. 137. P. 25–54.

Mullins C.E. Magnetic Susceptibility of Soil and its Significance in Soil Science – A Review // Journal of Soil Science. 1977. Vol. 28. P. 223–246.

Scharf P.C., Kitchen N.R., Sudduth K.A., Davis J.G., Hubbard V.C., Lory J.A. Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn // Agronomy Journal. 2005. Vol. 97. No 2. P. 452–461. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0452>.

Wang X., Li Y., Duan Y., Wang L., Niu Y., Li X., Yan M. Spatial Variability of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen in Desert Steppes of China's Hexi Corridor // Frontiers in Environmental Science. 2021. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.761313>.

Zhou J., Wang Y., Tong Y., Sun H., Zhao Y., Zhang P. Regional spatial variability of soil organic carbon in 0–5 m depth and its dominant factors // Catena. 2023. Vol. 231. P. 127–135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107326>.

Поступила в редакцию 01.11.2023

Принята 28.12.2023

Опубликована 30.12.2023

Сведения об авторе:

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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

VARIATION OF PROPERTIES OF CHERNOZEMS IN THE PRIOBSKY PLATEAU WITHIN THE BORDERS OF THE KEY AREA “VOLODARKA” (ALTAI REGION, RUSSIA)

© 2023 E. G. Zakharova 

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Academician Lavrentiev Avenue, 8/2, Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: zakharova@issa-siberia.ru

The aim of the study. To assess spatial heterogeneity of the chemical properties of the chernozems of the Near-Ob Plateau within the boundaries of the key site “Volodarka” and explain the reasons that determined the variation of the studied soil properties.

Location and time of the study. Steppe zone of the northeastern part of the Near-Ob Plateau within the boundaries of the key site “Volodarka” (52°41–42' N and 83°38'E); the results of the long-term research (2007–2019) are discussed.

Objects of the study. Chernozems that formed under the dry-steppe vegetation on loess deposits, as well as on different horizons of paleosols of Middle Pleistocene origin that reached surface.

Methodology. Soil samples were collected to a depth of 40 cm in a continuous column at an increment of 2 to 10 cm, taking into account the visible boundaries of genetic horizons. To characterize soil chemical properties, the methods commonly used in Russian soil science studies were used. Specifically, soil organic carbon content was determined by dichromate digestion method.

Results. The studied properties of chernozems, currently functioning in the same environmental conditions of the key area located on the territory of the Altai Territory, showed significant variation, as can be judged by comparing their means and coefficients of variation. The greatest fluctuations in all soil properties in all soil profiles were observed, as a rule, in the 10–20 or 20–40 cm layers, whereas in the 0–10 cm layer they changed less significantly. It was revealed that the degree of humification and humus reserves, as well as

nitrogen reserves and the nitrogen enrichment of humic substances in the 0-40 cm layer, can be regarded as significant; they displayed the greatest variation in the 20–40 cm layer.

Conclusions. *The heterogeneity of the main properties of chernozems located in the same natural conditions of the Priob Plateau within the boundaries of the key site “Volodarka”, even within 0-40 cm layer, is most likely due to the currently present features of ancient pedogenesis. Those features do not correspond to the combination of modern soil formation conditions of the dry-steppe type: it is confirmed by the presence and extent of clearly visible Middle Pleistocene pedocomplexes in the coastal outcrops of the Ob River. Different horizons of those pedocomplexes reached the surface and had been overlaid by products of modern soil formation in layers of different thicknesses. The combination of heterogeneity of soil profiles in terms of properties, position in the coastal outcrop and their visual differentiation allowed us to conclude that the variation in the compositional characteristics and properties of the studied soils resulted from the history of the territory development, which determined the surfacing of the buried paleosols. The knowledge of the heterogeneity of soil profiles makes it possible to use the studied soil properties and characteristics of their composition for monitoring the state of modern soils, substantiating forecasts of their behavior under changing ecological conditions, as well as for identifying features of ancient pedogenesis in order to reconstruct the paleonatural environment.*

Key words: *chernozems; Near-Ob Plateau; variation of soil properties; paleosols.*

How to cite: *Zakharova E.G. Variation in the properties of chernozems in the Priob Plateau within the boundaries of the key site “Volodarka” (Altai Territory, Russia) // The Journal of Soils and Environment. 2023. 6(4). e248. DOI: [10.31251/pos.v6i4.248](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.248). (in Russian with English abstract).*

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 121031700309-1).

REFERENCE

- Alekseev A.O., Kovalevskaya I.S., Morgun E.G., Samoilova E.M. Magnetic susceptibility of soils in conjugated landscapes. *Pochvovedenie*. 1988. No. 8. P. 27–35. (in Russian).
- Arinushkina E.V. Procedures for soil analysis. Moscow: Moscow State University press, 1970. 486 p. (in Russian).
- Armand A.D., Targulyan V.O. Some fundamental limitations of experiment and modeling in geography (the principle of complementarity and characteristic time). *Izvestiya Academy of Sciences of the SSR. Series geographical*. 1974. No. 4. P. 129–138. (in Russian).
- Babanin V.F. Magnetic susceptibility of the main soil types of the USSR and its use in soil research. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Moscow, 1972. 25 p. (in Russian).
- Babanin V.F., Trukhin V.I., Karpachevskiy L.O., Ivanov A.V., Morozov V.V. Magnetism of soils. Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, 1995. 222 p. (in Russian).
- Bandysh T.Yu. On the modern approach to the study of the heterogeneity of soil cover. *Pochvovedenie i Agrokhimia*. 2016. No. 2 (57). P. 56–67. (in Belarus).
- Belik A.V., Gorbunova Yu.S., Devyatova T.A., Alaeva L.A. Spatial variation of ecological indicators of soddy forest soils in Usmansky pine forest. *Forestry Engineering Journal*. 2020. Vol. 10. No. 3 (39). P. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.3/1>. (in Russian).
- Burlakova L.M. Fertility of Altai chernozems in the agrocenosis system. Barnaul: RIO AGAU, 2022. 203 p. (in Russian).
- Burlakova L.M., Morkovkin G.G. Current state of fertility of chernozems of the Altai Territory and the problem of their rational use. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2003. No. 5. P. 49–50.
- Burlakova L.M., Morkovkin G.G. Anthropogenic transformation of soil formation and fertility of chernozems in the system of agrocenoses. *Agrochemical Herald*. 2005. No. 1. P. 2–4. (in Russian).
- Vagapov I.M., Alekseev A.O. Magnetic Susceptibility in the Evaluation of Spatial and Profile Heterogeneity of Soils Conditioned by the Paleoecological Factors. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2015. No.(5). P. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-5-99-106>. (in Russian).
- Vashukevich N.I. Organic matter of the Holocene-Pliocene chronosequence of soils in the Pre-Baikal region. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1996. 14 p. (in Russian).
- Vorobyova L.A. Chemical analysis of soils. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1998. 272 p. (in Russian).

- Gamzikov G.P., Kulagina M.N. Changes in humus content in soils as a result of agricultural use. Moscow: VNIITEIag-roprom, 1992. 49 p. (in Russian).
- Denisova N.V. Forms of heterogeneity of soil cover in the chernozem zone of the European part of the Union: Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Moscow, 1974. 24 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Archaeological soil science. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 1997. 228 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. System of humic substances as the base for diagnostics of palaeosols and reconstruction of palaeoenvironment. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2018, 292 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Nekrasova O.A., Lavrik N.L. Humic acids of modern soils of the Southern Urals: Preprint. Novosibirsk, 2002. 24 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Mironycheva-Tokareva N.P., Ponomarev S.Yu., Gavrilov D.A. General characteristics of the study area and paleosols. In book: Palaeosols – keepers of information about the natural environment of the past. Novosibirsk: Thaler-Press LLC, 2011. P. 9–27. (in Russian).
- Derevyanko A.P., Dergacheva M.I. Magnetic susceptibility in Paleolithic archeology: on the issue of reconstruction of paleoclimates. Problems of reconstruction of climate and natural environment of the Holocene and Pleistocene of Siberia. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archeology and Ethnography SB RAS, 1998. P. 110–119. (in Russian).
- Dmitriev E.A. Mathematical statistics in soil science. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1995. 320 p. (in Russian).
- Zhukov A.V., Zadorozhnaya G.A. Spatial heterogeneity of mechanical hardness of replantozems. Principles of the Ecology. 2017. No. 3 (24). P. 66–80. (in Russian).
- Zavalin A.A., Sokolov O.A., Shmyreva N.J. Nitrogen in agro-ecosystems on chernozem soils. Moscow: RAS, 2018. 180 p. (in Russian).
- Zakharova E.G. Variation of properties in the upper part of modern soils and surface paleosols of the key Volodarka site (Barnaul Ob region). In book: Palaeosols – keepers of information about the natural environment of the past. Novosibirsk: Thaler-Press LLC, 2011. P. 91–94. (in Russian).
- Kachinskij N.A. Study of the physical properties of soil and plant root systems during territorial soil studies. Moscow: Gosselizdat, 1930. Part 1. 101 p. (in Russian).
- Kovrigo V.P., Kaurichev I.S., Burlakova L.M. Soil science with the basics of geology. Moscow: Kolos Publ., 2000. P. 416. (in Russian).
- Kozlovsky F.I. Soil individual and methods for its determination. Patterns of spatial variation in soil properties and information and statistical methods for their study. Moscow: Nauka Publ., 1970. P. 123–129. (in Russian).
- Kononova M.M. Soil organic matter. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 313 p. (in Russian).
- Krasilnikov P.V., Targulian V.O. Towards "New soil geography": challenges and solutions. A review. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 2. P. 113–121. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319020091>.
- Krupkin P.I., Toptygin V.V. Improving methods of soil grading (using the example of the Krasnoyarsk Territory). Pochvovedenie. 1999. No. 12. P. 1481–1491. (in Russian).
- Litvinovich A.V. Spatial heterogeneity of agrochemical indicators of arable soddy-podzolic soils. Agrokhimia. 2007. No. 5. P. 89–94. (in Russian).
- Lichman G.I., Marchenko N.M. Use of space monitoring and remote sensing for precision agriculture. Geomatics. 2011. No. 4. P. 89–94. (in Russian).
- Lomov S.P., Penkov A.V. Magnetic susceptibility of some contemporary and buried soils in Tadzhikistan. Pochvovedenie. 1979. No. 6. P. 100–109. (in Russian).
- Lykov A.M. Humus and soil fertility. Moscow: Moskovsky Rabochiy Publ., 1985. 192 p. (in Russian).
- Maksimova N.B. Changes in the structural composition of chernozems and chestnut soils in natural zones of the south-west of the Altai Territory during long-term use as part of arable land. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017. No. 5. P. 71–75. (in Russian).
- Makhonina G.I. Initial processes of soil formation in technogenic ecosystems of the Urals. Abstract of Dissertation. ... Dr. of Biol. Sci. Tomsk, 2004. 38 p. (in Russian).

- Guidelines for determining the content and composition of humus in soils. Compiled by: V.V. Ponomareva, T.A. Plotnikova. Leningrad: Leningrad State University, 1975. 105 p. (in Russian).
- Mikheeva I.V. Probabilistic-statistical models of soil properties (using the example of chestnut soils of the Kulunda steppe). Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2001. 200 p. (in Russian).
- Mikheeva I.V. Change in spatial variability of soil properties under anthropogenic impact. *Pochvovedenie*. 1997. No. 1. P. 102–109. (in Russian).
- Morev D.V. Agroecological assessment of lands in the conditions of a zonal series of agricultural landscapes with increased diversity of soil cover. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Moscow, 2017. 25 p. (in Russian).
- Morkovkin G.G. Anthropogenic transformation of soil formation and fertility of chernozems in the system of agrocenoses (on the example of the steppe zone of the Altai Territory). Barnaul: RIO AGAU, 2012. 271 p. (in Russian).
- Morkovkin G.G., Baykalova T.V., Maksimova N.B., Ovtsinov V.I., Litvinenko E.A., Demina I.V., Demin V.A. Estimation of the temporal dynamics of the structure of agricultural landscapes and indicators of soil fertility in the steppe zone of the Altai Territory. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013. No. 9 (107). P. 33–42. (in Russian).
- Mudrykh N.M. Spatial variation of properties in the agrosod-podzolic soil. *Anthropogenic Transformation of Environment*. 2018. P. 82–84. (in Russian).
- Orlov D.S. Soil chemistry. Moscow: Publishing house Moscow University, 1985. 376 p. (in Russian).
- Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. Revised system of the humus status parameters of soils and their genetic horizons. *Eurasian Soil Science*. 2004. Vol. 37. No. 8. P. 798–805.
- Paleosoils, natural environment and methods of their diagnostics. Dobrovolsky G.V., Dergacheva M.I. (ed.). Novosibirsk: "Offset", 2012. 264 p. (in Russian).
- Petersburgsky A.V. Workshop on agronomic chemistry. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1958. 550 p. (in Russian).
- Ponomareva V.V., Plotnikova T.A. Humus and soil formation. Leningrad: Nauka Publ., 1980. 221 p. (in Russian).
- Soils of the Altai region. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1959. 380 p. (in Russian).
- Rassypnov V.A. Variability of soil properties and their economic productivity in the conditions of the subzone of ordinary chernozems of the moderately arid splinter steppe of the Altai Territory. Dissertation ...Cand. of Biol. Sci. Barnaul, 1977. 172 p. (in Russian).
- Savich V.I., Gukalov V.V., Sorokin A.E., Konakh M.D., Agroecological evaluation of interrelationships of soil properties in time and space. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2021. Vol. 106. P. 163–175. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-106-163-175>. (in Russian).
- Samsonova V.P. Spatial variability of the composition and properties of soddy-podzolic soil. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Moscow, 2003. 51 p. (in Russian).
- Samsonova V.P. Spatial variability of soil properties using the example of soddy-podzolic soils. Moscow, 2008. 160 p. (in Russian).
- Skorokhodov V.Yu., Zenkova N.A. Formation and maintenance of humus in steam fields crop rotations and permanent pairon southern black Soilorenburg Cis-Urals. *Plodorodie*. 2019. No. 6. P. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.111.08>. (in Russian).
- Skripko V.V. Assessment of the ecological and geomorphological state of the Priobsky plateau based on basin analysis. Barnaul: Altai State University Publishing House, 2015. 142 p. (in Russian).
- Solovyova T.P. Magnetic susceptibility of soils in Khakassia. Dissertation ...Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1999. 17 p. (in Russian).
- Spitsyna S.F., Bakharev V.G. Variation of the gross content of microelements in soils of the Altai Territory. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. No. 4 (66). 2010. P. 27–30. (in Russian).
- Tatarintsev V.L. Agrogenic erosion and the physical state of soils in the Altai Ob region. Anthropogenic degradation of soil cover and measures to prevent it: Theses of reports of the All-Russian Conference (Moscow, June 16–18, 1998). Moscow, 1998. P. 46–47. (in Russian).
- Tatarintsev L.M. Physical state of the main arable soils in the southeast of Western Siberia. Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1993. 368 p. (in Russian).
- Tyurin I.V. Soil organic matter. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1937. 287 p. (in Russian).

- Fridland V.M. Elementary soil areas as the initial units of soil-geographical taxonomy and some of their derivatives. Patterns of spatial variation in soil properties and information-statistical methods for their study. Moscow: Nauka Publ., 1970. P. 5–14. (in Russian).
- Khmelev V.A. Loess chernozems of Western Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1989. 200 p. (in Russian).
- Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Chernozems of the Kuznetsk basin. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1983. 256 p. (in Russian).
- Chevychelov A.P., Alekseev A.A., Kuznetsova L.I. Magnetic susceptibility of permafrost soils of the forest catena in Central Yakutia. *Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal Forestry Science)*. 2021. No. 2. P. 32–42. DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20210203>. (in Russian).
- Encyclopedia of the Altai territory. Barnaul: Altai book publishing house, 1995. Part. 1. P. 350–367. (in Russian).
- Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. Vol. 249. P. 103–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.01.006>.
- Correa J.C., Klaus R. The Spatial Variability of Amazonian Soils under Natural Forest and Pasture. *Geojournal*. 1989. No. 4. P. 423–427.
- Coşkun G., Imanverdi E., Feride C., Zeynep D. Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field. *Eurasian Journal Soil Science*. 2016. No. 5 (3). P. 192–200. DOI: <https://doi.org/10.18393/ejss.2016.3.192-200>.
- Daughtry C.S.T., Hunt Jr. E.R.; Doraiswamy P.C., McMurtrey III J.E. Remote sensing the spatial distribution of crop residues. *Agronomy Journal*. 2005. Vol. 97. P. 864–871. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0291>.
- Jiao S., Li J., Li Y., Xu Z., Kong B., Li Y. & Shen Y. Variation of soil organic carbon and physical properties in relation to land uses in the Yellow River Delta, China. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article number: 20317. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77303-8>.
- Jong E. de, Pennock D.J., Nestor P.A. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. *Catena*. 2000. Vol. 40. Iss. 3. P. 291–305. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00080-1).
- Maher B.A. Magnetic properties of modern soils and loessic paleosols: implications for paleoclimate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1998. Vol. 137. P. 25–54.
- Mullins C.E. Magnetic Susceptibility of Soil and its Significance in Soil Science – A Review. *Journal of Soil Science*. 1977. Vol. 28. P. 223–246.
- Scharf P.C., Kitchen N.R., Sudduth K.A., Davis J.G., Hubbard V.C., Lory J.A. Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn. *Agronomy Journal*. 2005. Vol. 97. No. 2. P. 452–461. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0452>.
- Wang X., Li Y., Duan Y., Wang L., Niu Y., Li X., Yan M. Spatial Variability of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen in Desert Steppes of China's Hexi Corridor. *Frontiers in Environmental Science*. 2021. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.761313>.
- Zhou J., Wang Y., Tong Y., Sun H., Zhao Y., Zhang P. Regional spatial variability of soil organic carbon in 0–5 m depth and its dominant factors. *Catena*. 2023. Vol. 231. P. 127–135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107326>.

Received 01 November 2023

Accepted 28 December 2023

Published 30 December 2023

About the author:

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

The author read and approved the final manuscript



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