

УДК 550.41; 551.89

А.Ю. Овчинников¹, В.М. Алифанов², Л.А. Гугалинская²

ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ В ПОЧВАХ ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ ВАЛДАЙСКОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ

Изучение роли древних палеопризнаков и палеопроцессов в формировании и функционировании современных почв в условиях изменяющегося климата – активно разрабатываемая тема в вопросах о причинах существования большого разнообразия почв. В работе приведены результаты проявления палеокриогенеза на Восточно-Европейской равнине. Проведен сравнительный анализ влияния палеокриогенеза на изменчивость строения профилей почв восточной окраины (черноземы Самарской области) и западной окраины (дерново-подзолистые почвы Вологодской области) перигляциальной зоны Валдайского оледенения. Выявлены интенсивность влияния и степень выраженности этих процессов в разных оконечностях перигляциальной зоны оледенения в направлении с запада на восток. Интенсивность палеокриогенных процессов в почвах проявляется в виде крупных клиновидных грунтовых структур (КГС), языков-клиньев и их сгущений. Показано снижение интенсивности выражения палеокриогенных процессов при движении от западной к восточной оконечности перигляциальной зоны Валдайского оледенения на Восточно-Европейской равнине.

Палеоэкологические процессы позднего плейстоцена существенно влияют на свойства современного почвенного покрова. Выявилась синхронность и периодичность процессов осадконакопления с отложением различной природы материала, почвообразования и действия криогенных (палеокриогенных) процессов.

Такая особенность проявления палеокриогенеза в исследованных почвах отнесена к их фациальным особенностям на заключительной стадии Валдайского оледенения – позднеледниковье.

Ключевые слова: почвообразование, почвообразующие породы, палеокриоморфные признаки, плейстоцен, позднеледниковье, голоцен, фации

Введение. Проблема происхождения почв – одна из наиболее актуальных в современном почвоведении. Взаимоотношение почвы и формирующей ее природной среды – одна из основных задач изучения закономерностей развития не только почвенного покрова Земли, но и всего природного процесса в плейстоцене и голоцене. Она решается путем изучения свойств не только современных, но и древних (в том числе погребенных) почв. Такие исследования, являясь основой одного из важнейших направлений генетического почвоведения – палеопочвоведения, позволяют получать палеоэкологическую информацию об условиях формирования экосистем в прошлом, понимать особенности их современного функционирования и неоднородности строения.

Изучение роли палеопризнаков и палеопроцессов в формировании и функционировании современных почв в условиях изменяющегося климата – активно разрабатываемая тема при рассмотрении причин существования большого разнообразия почв [Гугалинская, 1982; Алифанов, 1995; Алифанов и др., 2010; Овчинников и др., 2013, 2020]. По ряду позиций предлагаемые подходы, в частности выявление роли палеокриогенных процессов в формировании и современном функционировании почв, не менее важ-

ны и для смежных наук – палеогеографии, четвертичной геологии, криолитологии, археологии. Факт существования в условиях позднеледниковья перигляциальной зоны природной циклической последовательности процессов морфо-, лито- и педогенеза является базовым в разрабатываемых нами подходах решения поставленной фундаментальной задачи [Алифанов, Гугалинская, 2005; Гугалинская, Алифанов, 2005; Алифанов и др., 2015; Овчинников и др., 2020]. Основное положение заключается в том, что почвообразующие породы центра Восточно-Европейской равнины формировались в основном в результате не только процессов осадконакопления, но и почвообразования и палеокриогенеза. При этом дифференциация природных процессов, влияющих на почвообразование, в позднеледниковье осуществлялась в основном на региональном и локальном уровнях. Отнесение начала почвообразования ко времени задолго до голоцена основывается нами на исследованиях палеопочвоведов и палеогеографов [Бреслав и др., 1971; Величко, 1973, 1982; Свиточ, 1987; Борзенкова, 1992; Изменение..., 1999; Эволюция..., 2008; Палеоклиматы..., 2009; Величко и др., 2017; Stein et al., 1994; Fang et al., 1997; Van Vliet-Lanoe, 1998; Svendsen et al., 2004], которые показали, что переход от плейстоцена к голоцену про-

¹ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Пушкинского научного центра биологических исследований Российской академии наук» (ИФХиБПП РАН), заместитель директора по научной работе, канд. биол. н.; e-mail: ovchinnikov_a@inbox.ru

² Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Пушкинского научного центра биологических исследований Российской академии наук» (ИФХиБПП РАН), лаборатория «Почвенных циклов азота и углерода», вед. науч. с., докт. биол. н.; e-mail: gugali@rambler.ru

должался несколько тысячелетий в виде смен климатических периодов похолодания и потепления, которые по своим параметрам приближались к современным условиям (потепления: ласко, раунис, беллинг, аллеред, пребореал с половецким потеплением) или к ледниковым условиям (похолодания: ранний, средний и поздний дриас, переславское похолодание) [Борзенкова, 1992].

Цель исследования – выявить интенсивность проявления палеокриогенных процессов в почвах в разных частях перигляциальной зоны Валдайского оледенения.

Задачи исследования:

1. Систематизировать и установить роль палеокриогенных признаков в формировании современного почвенного покрова, почвенного профиля и почвенных горизонтов.

2. Восстановить последовательность формирования почвенных профилей и неоднородности свойств почв, обусловленных палеокриогенезом.

3. Выявить специфику, проявление и особенности влияния палеокриогенеза на формирование и функционирование современных почв и почвенного покрова.

Материал и методы исследования. Исследовались почвы и палеокриогенные образования в двух районах перигляциальной зоны Валдайского ледникового покрова на разном отдалении от края ледника, в Самарской и Вологодской областях. В Самарской области почвы изучались в двух разрезах (1-2015 и 2-2015, 52°72'84" с. ш., 50°75'12" в. д.) в 5 км к северо-западу от села Богдановка Нефтегорского района, рельеф которого представлен слабо всхолмленной водораздельной поверхностью, имеющей слабый уклон к долине местного водотока и развитой овражной сетью. В Вологодской области исследования проводились в Вологодском районе в обнажении песчаного карьера (разрез 4-2014, 58°53'21" с. ш., 41°09'48" в. д.) непосредственно у самой границы поздневалдайского ледника.

Современные почвы двух разрезов в Самарской области представлены палеокриоморфными черноземами, подстилаемыми песками (CryicCalcicChernozems) и суглинками (CryicCalcicChernozems), в Вологодской области – палеокриоморфной дерново-подзолистой (CryicFluvicFerralicPodzols) [Классификация..., 1977; Классификация..., 2004; IUSS Working..., 2015].

Для выявления закономерностей пространственно-временной изменчивости физических и химических свойств современных черноземов, дерново-подзолистых почв и формирующих их почвообразующих пород применялся подход с использованием комплекса методов.

1. Морфологический метод с самого начала зарождения «почвоведения» как науки является неотъемлемой и главной частью полевых почвенных исследований. Морфологический и мезоморфологический анализы почв и почвообразующих пород позволили выявить генетические и преобразованные горизонты, почвенные свойства, а также

применялись в выявлении форм палеокриогенного микрорельефа, выявлении форм палеокриогенных образований, оценки свойств почв на уровне почвенного профиля и почвенного покрова.

2. Определение физических свойств почв выполнялось по общепринятым методикам [Качинский, 1943; Вадюнина, Корчагина, 1973].

3. Методы химических свойств почв [Агрохимические..., 1965; Аринушкина, 1970; Теория..., 2006; Воробьева и др., 2012] применялись для интерпретации свойств, определения типовой и подтиповой принадлежности [Классификация..., 1977; Классификация..., 2004; IUSS Working..., 2015] исследуемых почв, сравнительного анализа свойств почв, сформированных на почвообразующих породах различного генезиса, сравнительного анализа свойств почв, прошедших стадию палеокриогенеза.

Результаты исследования и их обсуждение. Разрез 1-2015 Нефтегорского района Самарской области заложен на северной стенке отвешка большого оврага и вскрывает двучленную толщу: верхние 60–70 см – суглинок, полностью занят гумусовыми горизонтами; нижняя часть с 60–70 см и до дна разреза (122 см) представлена белесым плотным песком с прослоями через 3–5–10 см более сцементированного песка (рис. 1).

Главная особенность профиля в том, что гумусовый горизонт имеет хорошо выраженную языковатую нижнюю границу. Языки-клинья проникают до глубины 100–120 см (крупные); более мелкие – до глубины 75–85 см. Языки-клинья имеют ширину у своего основания 30–35 см; более мелкие языки – 5–15 см. Всего на стенке разреза длиной 2,5 м вскрыто 5 крупных языков-клиньев и 4 языка-клина более мелкого размера. Гумусовые языки и языки-клинья на горизонтальном срезе (на глубине 115 см) имеют хорошо выраженную полигональность со стороны полигона 30–50 см. Гумусовые языки-клинья имеют сложное строение, а гумусовый горизонт чернозема представлен тремя подгоризонтами. Из нижнего подгоризонта гумусовый язык-клин уходит в подстилающий песок. Языки-клинья каждого из гумусовых подгоризонтов внедряются последовательно в нижележащий слой, создавая таким образом вложенную друг в друга систему.

Морфологический анализ профиля чернозема в разрезе 1-2015 показал следующее:

1. В поздневалдайское время, без сомнений, имело место промерзание почв и почвообразующих пород, на что указывают существующие языки-клинья. Вероятно существовали многолетнемерзлые породы, морфологически диагностируемые переслаивающимися сцементированными песками и оплыванием кончиков клиньев, которые, упираясь в мерзлоту, не проникали глубже, а распространялись в субгоризонтальной плоскости.

2. В настоящей работе не определялось изменение свойств пород и грунтов при промерзании. Это отдельная тема для исследования криолитологов. Но все же хотелось отметить, что черноземный горизонт разделяется на три подгоризонта. Возмож-



Рис. 1. Профили палеокриоморфных черноземов, подстилаемых песками и суглинками. Нефтегорский район, Самарская область. Разрезы: А – 1-2015, Б – 2-2015

Fig. 1. Profiles of paleocryomorphic chernozems on sands and loams. Neftegor'sk district, Samara region. Pits: А – 1-2015, Б – 2-2015

но, нижний подгоризонт формировался в какой-то этап поздневалдайского времени, но, к сожалению, датировки отсутствуют и утверждать это точно пока невозможно. Верхний подгоризонт – современный (в геологическом времени) и отражает соответствующие условия образования. Исходя из представлений мерзлотоведов, эти клинья схожи с таковыми для слоя сезонного промерзания. Современные климатические параметры Самарской области относятся к умеренно-континентальным. Глубина сезонного промерзания по СНИПу в Самаре (средняя максимальная) – 160 см. Такая глубина промерзания характерна для типа устойчивого сезонного промерзания при среднегодовой температуре грунта $+3...+5^{\circ}\text{C}$ и амплитудой $15\text{--}17^{\circ}\text{C}$. Таким образом, условия формирования языков-клиньев в данном черноземе происходили в разные этапы. Возможно во время образования первого подгоризонта было чуть попрохладнее и континентальнее, чем в настоящее время. Механизм формирования языков-клиньев обязан двум процессам – морозному растрескиванию зимой и иссушению за счет миграции влаги летом.

3. На наш взгляд, исходя из морфологического строения почвенного профиля, на данной территории температура промерзания вероятно была ниже современной, так как для разбития плотного сцементированного песка нужны ее значительные градиенты; влажность песка была невысокой – это существенно уменьшало интенсивность криогенных процессов. Следовательно, процессы промерзания были направлены больше на расширение трещин, чем на их углубление. Данное предположение подтверждается морфологическими особенностями строения клиньев. Во-первых, они недостаточно глубокие (мощность в пределах 1 м), во-вторых, языки-клинья имеют плечи и расширяются в верхней своей части. Скапливающаяся в них влага при замерзании расширяла их верхнюю часть, которая засыпалась материалом вышележащего горизонта

или же попадала с дневной поверхности. В-третьих, по морфологии каждый новый сформированный язык-клин проникал в нижележащий не углубляя его, а, наоборот, расширяя (как «меч в ножнах»).

4. Полигональность гумусовых языков имеет небольшие размеры, она не создает (не проецирует на поверхность) полигональный микрорельеф. Из этого следует, что либо температуры промерзания были недостаточно низкими для образования крупных криогенных клиньев, формирующих ярко выраженный микрорельеф, как, например, в почвах гумидных территорий, либо увлажненность была недостаточной.

5. Положение исследованной почвы в Самарской области на расстоянии в 1500 км от границы Валдайского оледенения предполагает снижение интенсивности криогенных процессов за счет менее низких зимних температур, чем на западе территории, располагавшейся ближе к краю ледника, уменьшение количества осадков при движении на восток и, наконец, песчаный состав подстилающих пород.

Морфологический анализ разреза 1-2015 в очередной раз показал, что есть закономерности в пространственном распределении почв, которые не соответствуют или отклоняются от широтной зональности и могут рассматриваться как почвенные провинции или фации, на что указывали Л.И. Прасолов [1916], И.П. Герасимов [1933], И.П. Герасимов и М.А. Глазовская [1960]. В данном случае к фациальным особенностям проявления интенсивности палеокриогенных процессов можно отнести процессы промерзания (палеокриогенеза) и уменьшения осадков. Таким образом, палеокриогенные процессы создавали не большие по размеру криогенные структуры (так, например, Вологодская, Ярославская, Владимирская, Московская, Тульская области), а более мелкого порядка или же скопления (сгущения) клиньев (в данном случае Самарская область). Выявленную особенность палеокриогенеза в исследованных почвах можно отнести к фаци-

альным особенностям палеокриогенеза почв на заключительной стадии Валдайского оледенения – позднеледниковья. На наш взгляд, к таким же фациальным особенностям можно отнести аналогичное проявление палеокриогенеза в виде сгущений языков-клиньев (т. е. щадящие криоаридные условия), которые ранее были выявлены в исследованиях А.Ю. Овчинникова [2009] в Воронежской области. В данном случае, такое же проявление палеокриогенеза обнаруживается и в южной краевой части перигляциальной зоны Валдайского оледенения.

По сравнению с палеокриогенными особенностями, выявленными во Владимирской, Московской и Воронежской областях [Овчинников, 2009; Алифанов и др., 2010; Овчинников и др., 2020; Худяков и др., 2020], палеокриогенез также проявлялся в виде сгущений языков-клиньев, как, например, в Воронежской области, имел пространственную закономерность и выступал на поверхности в виде микрорельефа. При сравнительном анализе палеокриогенных структур с продвижением с севера на юг от Владимирской области к Воронежской выяснилось, что компоненты микрорельефа приобретают менее отчетливые формы, вероятно, из-за уменьшения размеров палеокриогенных структур от крупных клиновидно-грунтовых аналогов к сгущениям языков-клиньев.

Второй разрез 2-2015 в том же районе (см. рис. 1) располагался в южной стенке отвешка ов-

рага, напротив разреза 1-2015. Профиль почвы представлен черноземом, но, в отличие от разреза 1-2015, сформирован на буром суглинке. В данном разрезе нет видимого песчаного материала, только на дне разреза (глубина 203 см) появляются отдельные линзы песка. Бурая часть разреза состоит из трех подгоризонтов: верхнего осветленного светло-бурого; среднего – темно-бурого и нижнего – темно-бурого с большим количеством псевдомицелия. Главная особенность разреза состоит в том, что, находясь всего в 6 м от разреза 1-2015 на противоположной стенке небольшого оврага, он имеет значительно бóльшую (превышающую в 3 раза) мощность суглинка, чем в разрезе 1-2015. В разрезе 1-2015 пески залегают на глубине 70 см, а в разрезе 2-2015 – на глубине 203 см.

Гумусовый горизонт состоит из двух-трех гумусовых подгоризонтов. От нижней границы гумусовых горизонтов отходят узкие гумусовые языки до глубины 96–116 см. Все вышесказанные положения по чернозему разреза 1-2015 в полной мере относятся и к чернозему выщелоченному, подстилаемому песками в разрезе 2-2015.

Вторая часть исследований посвящена дерново-подзолистой палеокриогенной почве, сформированной на песках на окраине д. Курово Вологодского района Вологодской области (разрез 4-2014) (рис. 2). Главной особенностью почвы разреза 4-2014 является крупная грунтовая структура, в результа-



Рис. 2. Криогенная структура в дерново-подзолистой палеокриоморфной песчаной почве. Вологодский район, Вологодская область

Fig. 2. Cryogenic structure in sod-podzolic paleocryomorphic sandy soil. Vologda district, Vologda region

те почвообразования обогащенная железом, которое придает ей цвет от охристого до коричневого. Вмещающие эту структуру породы сложены песчано-гравийными отложениями, имеющими серовато-белесый цвет. Наблюдаются прослои чистого песка, крупной гальки и щебня. В целом размеры гальки нарастают с глубиной.

На общем фоне разреза крупная криогенная структура выглядит очень ярко. Ее ширина в верхней части – 3,5 м, на глубине 2,3 м – около 5 см. Крупная криогенная структура имеет несколько асимметричную форму за счет наклона вмещающих песчано-гравийных слоев по ее бортам. Стенка северной части (на рис. 2 слева) имеет более крутое вертикальное строение. Южная (на рис. 2 справа) стенка структуры имеет более наклонную ступенчатую форму, где наблюдается вторичная, чуть более мелкая структура, прилегающая к более крупной.

Материал внутри крупной криогенной структуры в разной степени подвергнут ожелезнению. Наиболее сильной пропитке подвергался материал на границах (на бортах) и в ее центральной части. Структура заметно насыщена корневыми системами растений по всей глубине и, особенно, по бортам, во вмещающей породе корни отсутствуют. По центру структуры наблюдается существенное увеличение подзолистого горизонта до глубины 60 см. На глубине 30–55 см наблюдается прослой гумусового материала в форме полумесяца, окрашенного в светло-серый цвет.

Фотографический материал и полевые морфологические исследования позволяют относить данную криогенную структуру к псевдоморфозе по повторно-жильному льду. Об этом можно судить по ее морфологии и характеру слоев вмещающих отложений. Рассматриваемая структура четко делится на две части – верхнюю (широкую) и нижнюю (более узкую и клинообразную). Согласно представлениям [Попов и др., 1985], это объясняется расположением верхней расширенной части бывшей ледяной жилы в слое сезонного промерзания-протаивания, а нижней, более узкой, в пределах многолетнемерзлых пород. Таким образом, морфология структуры предполагает существование в данном районе в послевалдайское время многолетнемерзлых пород. Разделение данной структуры на две части также хорошо подчеркивается аналитическими данными, речь о которых пойдет ниже. Верхняя часть псевдоморфозы подчеркивается наличием илистых фракций на глубине 30–40 см, на глубине 120–130 см вновь наблюдается их накопление. Скорее всего, это показывает глубину сезонного промерзания-протаивания криогенной структуры. Данные по химическому анализу также подтверждают такие предположения. Верхняя часть структуры летом хорошо протаивала, влага, насыщенная ионами, проходила вниз по профилю, но задерживалась на уровне бывшей «головы» ледяной жилы, т. е. на уровне верхней границы мерзлоты. Если использовать представления Н.Н. Романовского [1977] о росте ледяных

жил, учитывая глубину сезонно-талого слоя, то структура имела размеры порядка 0,7–0,9 м. Таким образом, ее детальный анализ позволяет сделать более обоснованные представления о природной обстановке того времени.

Физические и химические свойства почвы.

В разрезе 4-2014 были проанализированы физические (табл.) и химические (рис. 3) свойства почв криогенной грунтовой структуры в связи с палеокриогенезом.

Образцы для определения свойств почв отбирались по крупной грунтовой структуре (см. табл.), свойства почв которой предполагалось изучить в настоящем исследовании, в связи с этим сравнительные данные по вмещающей породе не приводятся. Данные химических показателей соответствуют глубинам определения гранулометрического состава (см. табл.).

При визуальном осмотре разреза отмечен песчаный состав почвы и почвообразующей породы (см. табл.). По содержанию и распределению фракций по профилю почвы идентифицируется практически каждый горизонт: подзолистый выделяется уменьшением среднего и увеличением мелкого песка; уменьшением крупной и увеличением средней пыли в своей нижней части. Элювиально-иллювиальный горизонт заметно выделяется увеличением содержания илистой фракции, в результате чего количество физической глины в этом горизонте соответствует суглинистому составу горизонта. В средней части профиля наблюдается взаимное увеличение среднего и уменьшение мелкого песка; некоторое увеличение тонкой пыли, илистой фракции и соответственно физического песка, что приводит к утяжелению гранулометрического состава до супеси. В нижней части профиля наблюдается заметное перераспределение песчаных фракций: уменьшение среднего песка и заметное увеличение мелкого песка. Таким образом, гранулометрический состав почвы обусловлен аллювиально-пролювиальными(?) отложениями [Сергеев, 1982], слагающими надпойменные и пойменные террасы и русла рек исследуемой территории Вологодской области, и последующим перераспределением отложенного материала в результате формирования крупной грунтовой структуры в совокупности с почвообразовательными процессами.

По химическим показателям профиль почвы разреза 4-2014 можно разделить на верхнюю и нижнюю части (см. рис. 3). Содержание $C_{орг}$ в профиле почвы невысокое – менее 1%; только в нижней и, особенно, в средней части крупной криогенной структуры, там, где аккумулируются органо-минеральные соединения (гумусово-железистые), наблюдается увеличение содержания гумуса.

Кислотность почв оценивается как слабокислая в гумусово-органогенном горизонте и нейтральная ниже по профилю. Заметно уменьшается кислотность во вмещающих крупную криогенную структуру породах – pH среды становится щелочным. Также в средней части профиля заметно уве-

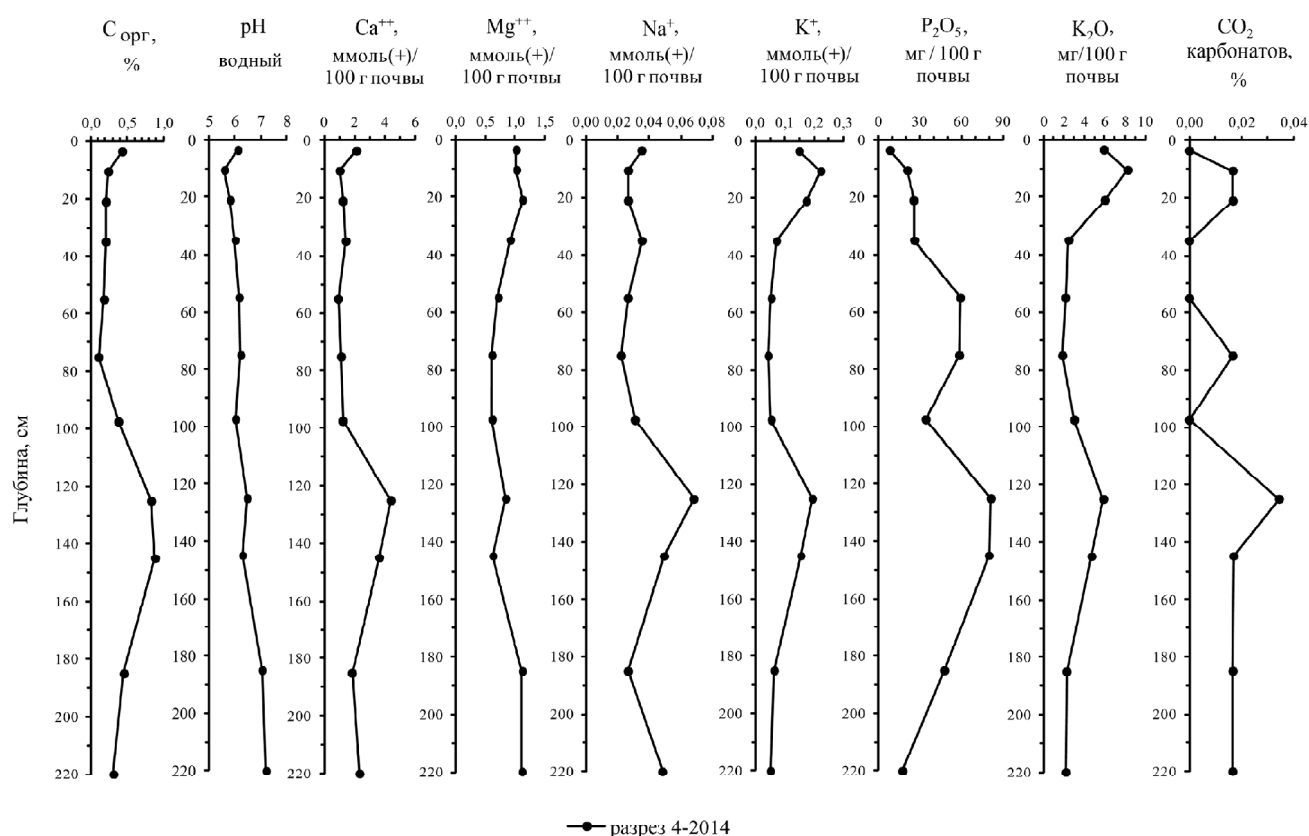


Рис. 3. Химические свойства почв разреза 4-2014. Вологодский район, Вологодская область. Данные приведены по палеокриогенной крупной грунтовой структуре

Fig. 3. Chemical properties of soils in pit 4-2014. Vologda district, Vologda region. Data are for a large paleocryogenic wedge-shaped ground structure

Т а б л и ц а

Гранулометрический состав почв разреза 4-2014. Волгоградский район, Вологодская область

№ образца	Генетический горизонт	Глубина отбора образца	Размер фракций – мм; содержание фракций – %						
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
1	A1A2	1–6	39	47	6	3	2	3	8
2	A2	6–15	19	62	7	3	3	6	12
3	A2	16–26	34	48	3	5	3	7	15
4	A2	30–40	29	31	5	2	4	29	35
5	A2	50–60	42	45	5	1	3	4	8
6	B1fe КГС	70–80	34	55	3	2	2	4	8
7	B1fe КГС	95–100	71	20	2	4	1	2	7
8	B2 КГС	120–130	54	26	4	2	4	10	16
9	B2 КГС	140–150	64	19	3	2	4	8	14
10	B3 КГС	180–190	25	62	6	2	2	3	7
11	B3 КГС	215–225	45	48	2	1	1	3	5

Примечание: данные приведены по палеокриогенной крупной грунтовой структуре.

личение поглощенного Ca^{2+} , CO_2 карбонатов, несколько меньшее увеличение поглощенного Mg^{2+} . Содержание поглощенных Na^+ и K^+ очень низкое, вероятно в пределах ошибки определения, но все же в средней части структуры несколько выше. Содержание подвижных форм фосфора и калия –

низкое. Фосфор с глубиной увеличивается, калий уменьшается.

Таким образом, все физические и химические показатели исследованного разреза, их содержание и распределение в значительной мере определяет палеокриогенная крупная грунтовая структура. Она

образует на поверхности пониженную форму микрорельефа, создающую дополнительный приток влаги, что приводит к эрозионному перераспределению материала. Подобная тенденция была выявлена и показана при исследовании почв в других областях (Вологодской, Владимирской, Московской, Тульской, Воронежской) [Овчинников, 2009; Алифанов и др., 2010; Овчинников и др., 2013, 2014, 2020; Худяков и др., 2020]. Было установлено, что современный почвенный покров существенно дифференцирован за счет влияния позднеплейстоценового палеокриогенеза. Почвы на разных элементах микрорельефа, сформированного за счет подобных криогенных структур, различаются на высоком таксономическом уровне (тип или подтип).

Выводы

Проведенные исследования показали:

– палеокриогенные процессы позднего плейстоцена были многократными, проявлялись в разные временные интервалы с отложением материала различной природы, и в настоящий момент существенно влияют на свойства почв и современный почвенный покров;

– анализ свойств почв показал, что температуры промерзания были разными на востоке (Самарская область) и на западе перигляциальной зоны (Вологодская область). Более низкие температуры, на-

личие многолетнемерзлых пород и сезонно-талого слоя способствовали формированию крупных криогенных структур (Вологодская область). Если температуры промерзания были несколько меньшими и существовало глубокое сезонное промерзание, формировались языки-клинья или их сгущения (Самарская область);

– выявлена закономерность или фациальность, проявляющаяся в уменьшении размеров палеокриогенных образований от края перигляциальной зоны Валдайского оледенения (Вологодская область) к ее оконечностям в направлении север–юг и север–восток (Воронежская и Самарская области);

– отмечены закономерности в пространственном распределении почв, которые не соответствуют или отклоняются от широтной зональности – почвенные провинции или фации [Прасолов, 1916; Герасимов, 1933; Материалы..., 1949; Герасимов, Глазовская, 1960; Добровольский, 1968; Ковда, 1973; Герасимов, 1981; Добровольский, 2001]. К фациальным особенностям проявления интенсивности палеокриогенных процессов можно отнести процессы промерзания и уменьшение осадков, гранулометрический состав почв и пород. Эти факторы способствовали уменьшению интенсивности этих процессов при движении от западной к восточной оконечности перигляциальной зоны.

Благодарности. Работа выполнена по теме «Государственного задания № 0191-2019-0046» и при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 17-04-00078-а и 19-29-05178-мк).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агрохимические методы исследования почв. М., 1965. 436 с.
- Алифанов В.М. Палеокриогенез и современное почвообразование. Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1995. 318 с.
- Алифанов В.М., Гугалинская Л.А. Палеогидроморфизм, палеокриогенез и морфолитообразование черноземов // Почвоведение. 2005. № 3. С. 309–315.
- Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. М.: ГЕОС, 2010. 160 с.
- Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. Формирование почвообразующих пород голоценовых почв в центре Восточно-Европейской равнины // Проблемы региональной экологии. 2015. № 4. С. 55–59.
- Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
- Борзенкова И.И. Изменение климата в кайнозое. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 246 с.
- Бреслав С.Л., Заррина Е.П., Краснов И.И. Периодизация и геохронология позднего плейстоцена северо-запада Европейской части СССР // Проблемы периодизации плейстоцена. Л., 1971. С. 124–136.
- Ваюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 399 с.
- Величко А.А. Природный процесс в плейстоцене. М.: Наука, 1973. 256 с.
- Величко А.А. Периодизация событий позднего плейстоцена в перигляциальной области // Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. Атлас-монография. М.: Наука, 1982. С. 70–74.
- Величко А.А., Янг Т., Алексеев А.О., Борисова О.К., Калинин П.И., Конищев В.Н., Кононов Ю.М., Константинов Е.А., Курбанов Р.Н., Панин П.Г., Рогов В.В., Сарана В.А., Тимирева С.Н., Чубаров И.Г. Сравнительный анализ изменений условий осадконакопления за последний межледниково-ледниковый макроцикл в лёссовых областях юга Восточно-Европейской равнины (Приазовье) и центрального Китая (Лёссовое плато) // Геоморфология. 2017. № 1. С. 3–18.
- Воробьева Л.А., Ладонин Д.В., Лопухина О.В., Рудакова Т.А., Киришин А.В. Химический анализ почв. Вопросы и ответы. М., 2012. 186 с.
- Герасимов И.П. О почвенно-климатических фациях равнин СССР и прилегающих стран // Труды Почвенного ин-та АН СССР. 1933. Т. 8. Вып. 5.
- Герасимов И.П. Новые идеи в географии. Конструктивная география в социалистических странах Европы. Вып. 5. 1981. 312 с.
- Герасимов И.П., Глазовская М.А. Основы почвоведения и географии почв. М., 1960. 490 с.
- Гугалинская Л.А. Почвообразование и криогенез Центра Русской равнины в позднем плейстоцене. Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1982. 204 с.
- Гугалинская Л.А., Алифанов В.М. Позднеплейстоценовый морфолитообразование голоценовых почв центра Восточно-Европейской равнины // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода. № 66. М.: ГЕОС, 2005. С. 33–42.

- Добровольский В.В.* География почв с основами почвоведения. М.: ВЛАДОС, 2001. 384 с.
- Добровольский Г.В.* Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1968. 298 с.
- Изменение климата и ландшафтов за последние 65 млн лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена) / под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.
- Качинский Н.А.* Методы механического и микроагрегатного анализа почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1943. 45 с.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
- Ковда В.А.* Основы учения о почвах. Ч. 1. М.: Наука, 1973. 448 с.
- Материалы по географии и картографии почв СССР. Труды Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. Т. XXX / под ред. Л.И. Прасолова, И.П. Герасимова. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 323 с.
- Овчинников А.Ю.* Палеокриогенез как фактор дифференциации современных почв и почвенного покрова центра Восточно-Европейской равнины: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2009. 24 с.
- Овчинников А.Ю., Алифанов В.М., Ваганов И.М., Гугалинская Л.А., Рюмиш А.Н.* Формирование пространственно-временной изменчивости физических и физико-химических свойств дерново-подзолистых почв Европейской России, обусловленной палеоэкологическими факторами // Проблемы региональной экологии. 2013. № 5. С. 26–32.
- Овчинников А.Ю., Алифанов В.М., Ваганов И.М.* Палеоэкология позднего плейстоцена и современные дерново-подзолистые почвы центра Восточно-Европейской равнины // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 60–65.
- Овчинников А.Ю., Алифанов В.М., Худяков О.И.* Влияние палеокриогенеза на формирование серых лесных почв центральной России // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1170–1181.
- Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. Атлас-монография / под ред. А.А. Величко. М., 2009. 120 с.
- Попов А.И., Розенбаум Г.Э., Тумель Н.В.* Криолитология. М.: Изд-во МГУ, 1985. 239 с.
- Прасолов Л.И.* О черноземе приазовских степей // Почвоведение. 1916. № 1. С. 45–46.
- Романовский Н.Н.* Формирование полигонально-жилых структур. Новосибирск: Наука, 1977. 216 с.
- Свиточ А.А.* Палеогеография плейстоцена. М.: Изд-во МГУ, 1987. 188 с.
- Сергеев Е.М.* Инженерная геология. 2-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 248 с.
- Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Худяков О.И., Алифанов В.М., Плещенев П.А., Овчинников А.Ю., Решоткин О.В., Бухонов А.В.* Палеокриогенез как фактор неоднородности агросерой почвы // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1237–1246. DOI: 10.31857/S0032180X20100093.
- Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24–8 тыс. л. н.) / отв. ред. А.К. Маркова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 556 с.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. FAO, Rome, 2015, 192 p.
- Fang X.-M., Ono Y., Nagatsuka S., Guan D.-H., Pan B.-T., Li J.-J., Fukusawa H., Torii M.* Soil micromorphological and chemical evidence for Asian summer monsoon-instability during the past 60 000 years BP, PPCN, 1997, no. 14.
- Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I., Demidov I., Dowdeswell J.A., Funder S., Gataullin V., Henriksen M., Hjort C., Houmark-Nielsen M., Hubberten H.W., Ingolfsson O., Jakobsson M., Kjær K.H., Larsen E., Lokrantz H., Lunkka J.P., Lysa A., Mangerud J., Mamioukhov A., Murray A., Müller P., Niessen F., Nikolskaya O., Polyak L., Saarnisto M., Siegert M.J., Spielhagen R.F., Stein R.* Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia, *Quaternary Science Reviews*, 2004, vol. 23, p. 1229–1271.
- Stein R., Seung-II. N., Shubert C.* The last deglaciation event in the Eastern Central Arctic Ocean, *Science*, 1994, vol. 264, p. 692–696.
- Van Vliet-Lanoe B.* Frost and soils: implications for paleosols, paleoclimates and stratigraphy, *Catena*, 1998, vol. 34, no. 1–2, p. 157–184.

Поступила в редакцию 18.09.2019

После доработки 20.07.2020

Принята к публикации 06.10.2020

**A.Yu. Ovchinnikov¹, V.M. Alifanov,
L.A. Gugalskaya²**

PALEOCRYOGENESIS IN SOILS OF THE PERIGLACIAL ZONE OF THE VALDAI GLACIATION

The role of ancient paleo-features and paleo-processes in the formation and functioning of modern soils under the changing climate is actively studied for reasoning of the existence of a large variety of soils. The paper presents the results of paleocryogenic effects on the East European plain. The influence of paleocryogenesis on the variability of soil profile structure was compared for the Eastern and Western peripheries of the periglacial zone of the Valdai glaciations (Chernozems of the Samara region and sod-podzolic soils of the Vologda region, respectively). The intensity of influence and the degree of manifestation of these processes in different parts of the periglacial zone in the direction from West to East are revealed. The paleocryogenic processes in soils manifest themselves in the form of large wedge-shaped ground structures, the tongue-wedges and the tongue-wedges concentrations. The intensity of the relics of paleocryogenic processes decreases over the East European Plain from the western to the eastern border of the periglacial zone of the Valdai glaciation.

¹ Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Deputy Director for scientific work, PhD. in Biology; e-mail: ovchinnikov_a@inbox.ru

² Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Laboratory of nitrogen and carbon cycles in soils, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Biology; e-mail: gugali@rambler.ru

Paleoecological processes of the Late Pleistocene significantly affect the properties of the present-day soil cover. It was found that sedimentation processes with deposition of different types of material, soil formation, and cryogenic (paleocryogenic) processes were all synchronous and periodic.

Specific feature of paleocryogenesis in the studied soils is attributed to their facial characteristics at the final stage of the Valdai glaciation – the Late Glacial.

Key words: soil formation, soil-forming rocks, paleocryomorphic features, Pleistocene, the late Valdai time, Holocene, facies

Acknowledgements. The study was carried out under the State task no. 0191-2019-0046 and financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects no. 17-04-00078-a and 19-29-05178-mk).

REFERENCES

- Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical methods of soil research], Moscow, 1965, 436 p. (In Russian)
- Alifanov V.M. *Paleokriogenez i sovremennoe pochvoobrazovanie* [Paleocryogenesis and modern soil formation], ONTI PSC RAS, Pushchino, 1995, 318 p. (In Russian)
- Alifanov V.M., Gugalinskaja L.A. Paleogidromorfizm, paleokriogenez i morfolitopedogenez chernozemov [Paleohydromorphism, paleocryogenesis and morpholithopedogenesis of chernozem], *Pochvovedenie*, 2005, vol. 3, p. 309–315. (In Russian)
- Alifanov V.M., Gugalinskaja L.A., Ovchinnikov A.Ju. [Formirovanie pochvoobrazujushchih porod golocenovykh pochv v centre Vostochno-Evropejskoj ravniny], *Problemy regional'noj ekologii*, 2015, no. 4, p. 55–59. (In Russian)
- Alifanov V.M., Gugalinskaja L.A., Ovchinnikov A.Ju. *Paleokriogenez i raznoobrazie pochv centra Vostochno-Evropejskoj ravniny* [Paleocryogenesis and soil diversity of the centre of East European plain], Moscow, GEOS Publ., 2010, 160 p. (In Russian)
- Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* [Manual of chemical analysis of soils], Moscow, Moscow University Publ., 1970, 487 p. (In Russian)
- Borzenkova I.I. *Izmenenie klimata v kajnozoe* [Climate change in the Cenozoic], Sankt-Peterburg, Gidrometeoizdat Publ., 1992, 246 p. (In Russian)
- Breslav S.L., Zarrina E.P., Krasnov I.I. Periodizacija i geohronologija pozdnego plejstocena severo-zapada Evropejskoj chasti SSSR [Periodization and geochronology of the late Pleistocene of the North-West of the European part of the USSR], *Problemy periodizacii plejstocena*. Leningrad, 1971, p. 124–136. (In Russian)
- Evoljucija ekosistem Evropy pri perehode ot plejstocena k golocenu (24–8 tys. l. n.) [Evolution of ecosystems in Europe during the transition from Pleistocene to Holocene (24–8 thousand y. a.)], Markov A.K. (Ed.), Moscow, Tovarišhestvo nauchnykh izdanij KMK Publ., 2008, 556 p. (In Russian)
- Fang Xiao-Min, Ono Y., Nagatsuka S., Guan D.-H., Pan B.-T., Li J.-J., Fukusawa H., Torii M. Soil micromorphological and chemical evidence for Asian summer monsoon-instability during the past 60 000 years BP. *PPCN*, 1997, no. 14.
- Gerasimov I.P. O pochvenno-klimaticheskikh facijah ravnin SSSR i priliegajushchih stran [On soil and climatic facies of the plains of the USSR and adjacent countries], *Trudy Pochv. In-ta AN SSSR*, 1933, vol. 8, no. 5. (In Russian)
- Gerasimov I.P., Glazovskaja M.A. *Osnovy pochvovedenija i geografii pochv* [Fundamentals of soil science and soil geography], Moscow, 1960, 490 p. (In Russian)
- Gugalinskaja L.A. *Pochvoobrazovanie i kriogenez Centra Russkoj ravniny v pozdnem plejstocene* [Soil formation and cryogenesis of the Center of the Russian plain in the late Pleistocene], Pushchino, ONTI NCBIAN SSSR Publ., 1982, 204 p. (In Russian)
- Gugalinskaja L.A., Alifanov V.M. Pozdneplejstocenovyj morfolitogenez golocenovykh pochv centra Vostochno-Evropejskoj ravniny [Late Pleistocene morpholithogenesis of Holocene soils of the center of the East European plain], *Bjul. Komissii po izucheniju četvertichnogo perioda*, Moscow, GEOS Publ., 2005, vol. 66, p. 33–42. (In Russian)
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Update 2015. FAO, Rome, 2015, 192 p.
- Izmenenie klimata i landshaftov za poslednie 65 millionov let (kajnozoi: ot paleocena do golocena)* [Climate and landscape change over the last 65 million years (Cenozoic: Paleocene to Holocene)], Prof. A.A. Velichko (Ed.), Moscow, GEOS Publ., 1999, 260 p. (In Russian)
- Kachinskij N.A. *Metody mehanicheskogo i mikroagregatnogo analiza pochvy* [Methods of mechanical and microaggregate soil analysis], Moscow, USSR Academy of Science Publ., 1943, 45 p. (In Russian)
- Khudyakov O.I., Alifanov V.M., Pletenev P.A., Ovchinnikov A.Ju., Reshotkin O.V., Bukhonov A.V. Paleocryogenesis as a factor of heterogeneity of agro-gray soil. *Eurasian Soil Science*, 2020, vol. 53, no. 10, p. 1437–1445. DOI: 10.1134/S1064229320100099.
- Klassifikacija i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia], Smolensk, Ojkumena Publ., 2004, 342 p. (In Russian)
- Klassifikacija i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR], Moscow, Kolos Publ., 1977, 224 p. (In Russian)
- Ovchinnikov A.Ju. *Paleokriogenez kak faktor differenciacii sovremennykh pochv i pochvennogo pokrova centra Vostochno-Evropejskoj ravniny* [Paleocryogenesis as a factor of differentiation of modern soils and soil cover of the center of the East European plain], Extended Abstract of PhD Thesis in Biology, Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 2009, 24 p. (In Russian)
- Ovchinnikov A.Ju., Alifanov V.M., Khudyakov O.I. The impact of paleocryogenesis on the formation of gray forest soils in central Russia. *Eurasian Soil Science*, 2020, vol. 53, no. 10, p. 1354–1364. DOI: 10.1134/S1064229320100142.
- Ovchinnikov A.Ju., Alifanov V.M., Vagapov I.M. Paleoeologija pozdnego plejstocena i sovremennye dervno-podzolistye pochvy centra Vostochno-Evropejskoj ravniny [Paleoecology of the late Pleistocene and modern sod-podzolic soils of the center of the East European plain], *Problemy regional'noj ekologii*, 2014, no. 5, p. 60–65. (In Russian)
- Ovchinnikov A.Ju., Alifanov V.M., Vagapov I.M., Gugalinskaja L.A., Rjumshin A.N. Formirovanie prostranstvenno-vremennoj izmenchivosti fizicheskikh i fiziko-himicheskikh svojstv dervno-podzolistykh pochv evropejskoj Rossii, obuslovlennoj paleoekologicheskimi faktorami [Formation of spatio-temporal variability of physical and physico-chemical properties of sod-podzolic soils of European Russia due to paleoecological factors], *Problemy regional'noj ekologii*, 2013, vol. 5, p. 26–32. (In Russian)
- Paleogeografija Evropy za poslednie sto tysjach let* [Paleogeography of Europe in the last hundred thousand years], Gerasimov I.P. and Velichko A.A. (Ed.), Moscow, Nauka Publ., 1982, 156 p. (In Russian)
- Paleoklimaty i paleolandshafty vne tropicheskogo prostranstva Severnogo polusharija. Pozdnij plejstocen – golocen* [Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical space of the Northern

hemisphere. Late Pleistocene-Holocene], Atlas-monografija, Velichko A.A. (Ed.), Moscow, 2009, 120 p. (In Russian)

Popov A.I., Rozenbaum G.Je., Tumel' N.V. *Kriolitologija* [Cryolitology], Moscow, Moscow University Publ., 1985. 239 p. (In Russian)

Prasolov L.I. O chernozeme priazovskih stepej [About Chernozem of Azov steppe], *Pochvovedenie*, 1916, vol. 1, p. 45–46. (In Russian)

Romanovskij N.N. *Formirovanie polygonal'no-zhil'nyh struktur* [The formation of the polygonal-wedge structures], Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, 216 p. (In Russian)

Stein R., Seung-II. N., Shubert C. The last deglaciation event in the Eastern Central Arctic Ocean, *Science*, 1994, vol. 264, p. 692–696. DOI: 10.1126/science.264.5159.692.

Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I., Demidov I., Dowdeswell J.A., Funder S., Gataullin V., Henriksen M., Hjort C., Houmark-Nielsen M., Hubberten H.W., Ingolfsson O., Jakobsson M., Kjær K.H., Larsen E., Lokrantz H., Lunkka J.P., Lysa A., Mangerud J., Matiouchkov A., Murray A., Möller P., Niessen F., Nikolskaya O., Polyak L., Saarnisto M., Siegert M.J., Spielhagen R.F., Stein R. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia, *Quaternary Science Reviews*, 2004, vol. 23, p. 1229–1271. DOI: 10.1016/j.quascirev.2003.12.008.

Svitoch A.A. *Paleogeografija plejstocena* [Paleogeography of the Pleistocene], Moscow, Moscow University Publ., 1987, 188 p. (In Russian)

Teorija i praktika himicheskogo analiza pochv [Theory and practice of chemical analysis of soils], Moscow, GEOS Publ., 2006, 400 p. (In Russian)

Vadjunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovanija fizicheskikh svojstv pochv i gruntov* [Methods of research of physical

properties of soils], Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1973, 399 p. (In Russian)

Van Vliet-Lanoe B. Frost and soils: implications for paleosols, paleoclimates and stratigraphy, *Catena*, 1998, vol. 34, no. 1–2, p. 157–183. DOI: 10.1016/S0341-8162(98)00087-3.

Velichko A.A. *Periodizacija sobytij pozdnego plejstocena v periglacial'noj oblasti. Paleogeografija Evropy za poslednie sto tysjach let* [Periodization of late Pleistocene events in the periglacial region], Atlas-monografija, Moscow, Nauka Publ., 1982, p. 70–74. (In Russian)

Velichko A.A. *Prirodnyj process v plejstocene* [Natural process during the Pleistocene], Moscow, Nauka Publ., 1973, 256 p. (In Russian)

Velichko A.A., Jang T., Alekseev A.O., Borisova O.K., Kalinin P.I., Konishhev V.N., Kononov Ju.M., Konstantinov E.A., Kurbanov R.N., Panin P.G., Rogov V.V., Sarana V.A., Timireva S.N., Chubarov I.G. Sravnitel'nyj analiz izmenenij uslovij osadkonakoplenija za poslednij mezhlednikovo-lednikovyy makrocikl v ljossovyh oblastjah juga Vostochno-Evropskoj ravniny (Priazov'e) i central'nogo Kitaja (Ljossovoe plato) [Comparative analysis of changing sedimentation conditions during the last interglacial-glacial macrocycle in the loess areas of the southern East European plain (the Azov Sea region) and central China (loess plateau)], *Geomorfologija*, 2017, no. 1, p. 3–18. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-1-3-18. (In Russian)

Vorob'eva L.A., Ladonin D.V., Lopuhina O.V., Rudakova T.A., Kirjushin A.V. *Himicheskij analiz pochv. Voprosy i otvety* [Chemical analysis of soils. Questions and answers], Moscow, 2012, 186 p. (In Russian)

Received 18.09.2019

Revised 20.07.2020

Accepted 06.10.2020