

УДК 634.4

ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ КАК ФАКТОР НЕОДНОРОДНОСТИ АГРОСЕРЫ ПОЧВЫ

© 2020 г. О. И. Худяков^{а, *}, В. М. Алифанов^а, П. А. Плетнев^б,
А. Ю. Овчинников^а, О. В. Решоткин^а, А. В. Бухонов^а

^аИнститут физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ул. Институтская, 2, Пущино, Московская область, 142290 Россия

^бФедеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эмиссара Роспотребнадзора,
ул. Семашко, 2, Мытищи, Московской область, 141014 Россия

*e-mail: oix@rambler.ru

Поступила в редакцию 20.03.2020 г.

После доработки 18.04.2020 г.

Принята к публикации 27.04.2020 г.

Использование метода выделения палеокриогенных форм микрорельефа по морфоизографам нулевой кривизны позволило на экспериментальном участке агроландшафта на юге Московской области выявить полигонально-блочный микрорельеф (понижения и повышения, склоны, полосы стока), формирующие элювиальные, трансэлювиальные, трансаккумулятивные агроландшафты. Структура почвенного элювиального агроландшафта включает элементарные почвенные ареалы несмытых, слабосмытых, среднесмытых и намытых почв. В агроландшафте преобладает ареал несмытой почвы. Структура почвенного покрова трансэлювиального агроландшафта вместе с понижениями включает элементарные почвенные ареалы слабосмытых, среднесмытых, сильносмытых, смыто-намытых и намытых почв. В агроландшафте преобладает ареал слабосмытой почвы. Структура почвенного покрова трансаккумулятивного агроландшафта включает элементарные почвенные ареалы слабосмытых, среднесмытых, сильносмытых, смыто-намытых и намытых почв. В агроландшафте преобладает ареал сильносмытой почвы. При сельскохозяйственном использовании около 200 лет в элювиальном, трансэлювиальном и трансаккумулятивном агроландшафтах палеокриогенный микрорельеф, сформированный палеокриогенными процессами, явился начальным механизмом формирования элементарных почвенных ареалов с различной степенью смытости. В элементарных почвенных ареалах почв с различной степенью смытости верхних горизонтов на поверхности отмечены выходы нижележащих горизонтов различного гранулометрического состава. В одном случае эрозионные потоки обнажили нижележащий под смытым горизонтом средний суглинок, в другом – легкую глину, а в третьем – тяжелый суглинок, сформировав, таким образом, на участке комплексную структуру пахотного горизонта на уровне разновидности.

Ключевые слова: палеокриогенез, элементарный почвенный ареал, агроландшафт

DOI: 10.31857/S0032180X20100093

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве рекомендована агроландшафтная система земледелия [16], в которой реальным объектом земледелия принята почвенная разновидность. В комплексной структуре почвенного покрова агроландшафтная система земледелия призвана учитывать все разнообразие свойств почв и режимов почвенных разновидностей. Особое внимание должно быть уделено изучению неоднородностей свойств почв и режимов внутри каждого поля [14]. В этой связи оценка неоднородности почвенного покрова, в частности, агрофизических свойств почв каждого поля, является одной из важных задач в современном земледелии [36].

С другой стороны, при неоднородности комплексного почвенного покрова необходимо учитывать агрономическую однородность свойств почв и режимов разновидностей с целью возможного применения однотипных технологий и оптимальных сроков их применения [37]. В последние годы при изучении пространственной изменчивости свойств почв, в том числе агросерых почв, стали использоваться методы геоморфометрии и цифрового картографирования [11]. Необходимо отметить, что почвы европейской территории России прошли стадию палеокриогенеза [2–6, 9]. С теоретических позиций актуальность работы определяется важностью проблемы выявления роли палеокриогенеза в формировании разновидностей почв

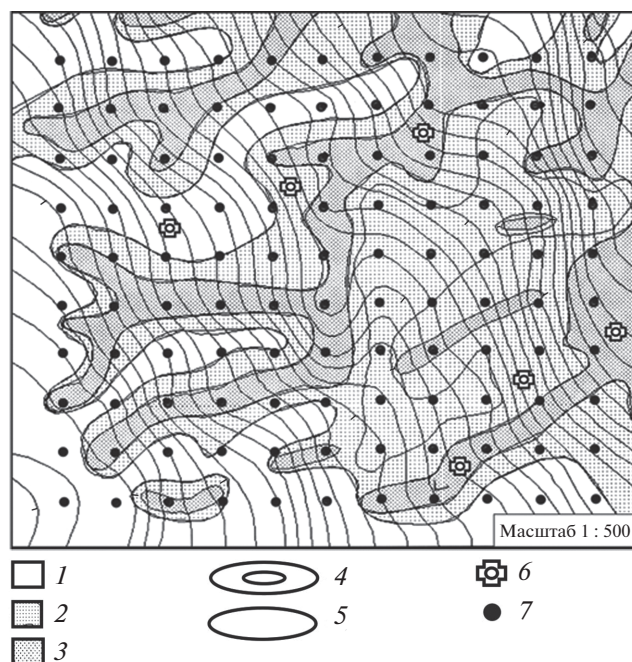


Рис. 1. Палеокриогенные формы микрорельефа экспериментального участка и опорные разрезы: 1 – платообразные участки, 2 – склоны, 3 – полосы стока, 4 – замкнутые понижения, 5 – замкнутые повышения, 6 – опорные разрезы, 7 – прикопки. Горизонталы проведены через 5 см.

в условиях комплексного почвенного покрова при сельскохозяйственном использовании современных агросерых почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований явились агросерые почвы [17, 29] южного Подмосковья, относящиеся к западной части Среднерусской провинции северных отрогов Средне-Русской возвышенности. Рельеф холмисто-увалистый с глубоко расчлененной поверхностью. Исследования проводили на территории Почвенно-экологической станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, в 2 км к западу от г. Пушкино. На территории станции преобладает ярко выраженный палеокриогенный бугристо-западинный микрорельеф [2]. На момент исследования агросерые почвы находились в режиме пашни более 200 лет.

Исследования проводили на экспериментальном участке площадью 1 га (100 × 100 м), который располагался в средней части пологого склона (уклон менее 1°). На участке проводили топографическую съемку в масштабе 1 : 500. На картах изолинии проводили через каждые 5 см. В результате выявили микрорельеф с относительными превышениями высот до 180 см (рис. 1). С помощью метода морфоизограф на топографической

основе выделили элювиальные, трансэлювиальные и трансаккумулятивные элементарные агроландшафты. Полученную топографическую основу сканировали и оцифровывали с помощью программы EasyTrace7.

Экспериментальную площадку разделили на квадраты с шагом 8 м, в углах каждого квадрата закладывали прикопки до глубины 70–90 см (всего 110).

С помощью метода сплошной и профильной съемки установили границы распространения разностей агросерых почв по степени смытости и намытости, затем составляли почвенную карто-схему в масштабе 1 : 500.

При проведении почвенного картирования агросерых почв использовали методику Алифанова [2]. Такой подход позволяет выделять почвенные разности по степени смытости: несмытые, слабосмытые, среднесмытые, сильносмытые, намытые, смыто-намытые. На каждой из выделенных почвенных разностей по степени смытости закладывали почвенный разрез до глубины 2.5 м, нижнюю часть разреза бурили до 3.0 м. В каждом разрезе отобрали образцы почв для лабораторных исследований. Отбор образцов проводили через каждые 5 см до глубины 40 см, ниже 40 см образцы отбирали каждые 10 см до дна разреза.

Компьютерное картирование проводили с помощью пакета программ ArcGis 8.0. Материалы статистически обрабатывали методами вариационной статистики [13]. Данные полевых измерений обрабатывали с помощью программ Statistica 6.0 и Excel. В полевых условиях проводили морфологическое описание почв. В лабораторных условиях определяли физические [8, 15] и химические [7] свойства почв. Гранулометрический состав определяли пиррофосфатным методом, рН водной вытяжки – потенциометрическим методом, углерод органического вещества – методом И.В. Тюрина, содержание карбонатов – ацидиметрическим методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Палеокриогенез – это изменение свойств почв и режимов на уровне микрорельефа, агроландшафта, структуры почвенного покрова, профиля и генетического горизонта почвы под действием нулевых и отрицательных температур и льдистости в плейстоцен-голоценовый период при промерзании, протаивании и пребывании почвы в талом состоянии.

Палеокриогенные формы микрорельефа экспериментального участка агроценоза. Применение метода морфоизограф нулевой кривизны при картировании экспериментального участка позволило выделить различные формы палеокрио-

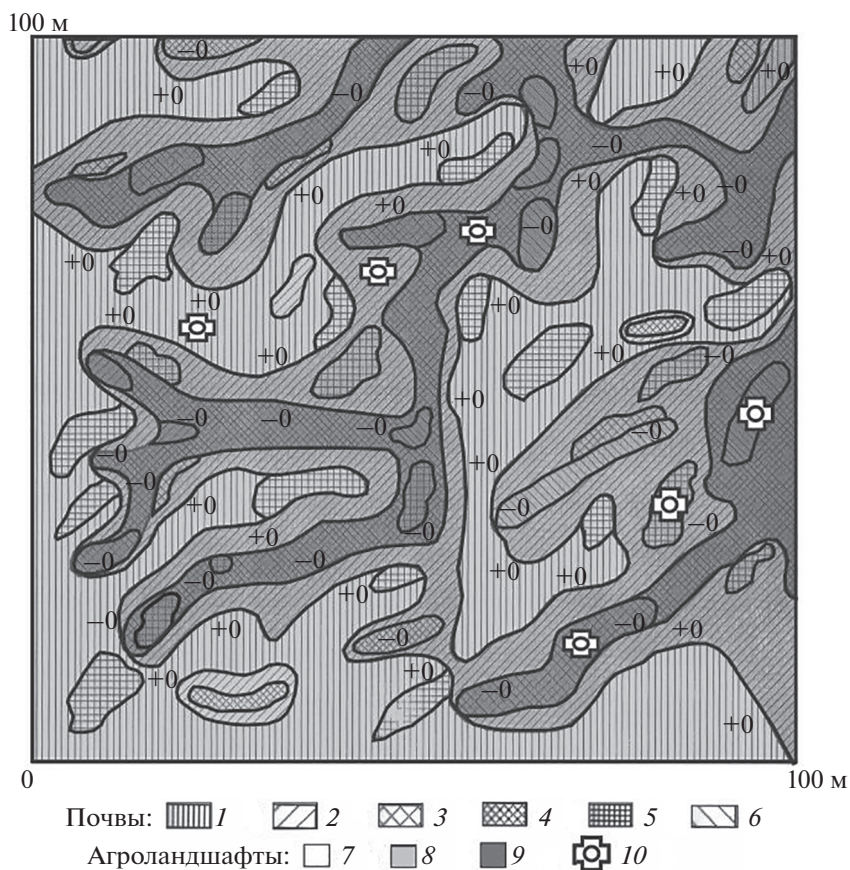


Рис. 2. Почвы, агроландшафты и опорные разрезы агроценоза: 1 – несмытая почва, 2 – слабосмытая почва, 3 – среднесмытая почва, 4 – сильносмытая почва, 5 – намытая почва, 6 – смыто-намытая почва, 7 – элювиальный, 8 – транселювиальный, 9 – трансаккумулятивный, 10 – опорные разрезы.

генного микрорельефа [32, 33]. К палеокриогенным формам микрорельефа относятся платообразные участки полигонально-блочных структур, трещины, микропонижения, микроповышения, склоны и полосы стока (рис. 1). Полигонально-блочная структура – это ровная территория, ограниченная по периметру морфоизографой $+0$. В микрорельефе эта линия характеризует границу перехода от ровной площади к склону. Склоны в микрорельефе – это пространство между морфоизографами $+0$ и -0 . Полосы стока – это пространство между морфоизографами -0 и -0 .

Палеокриогенные формы микрорельефа как фактор формирования агроландшафтов. Элювиальный агроландшафт в рельефе местности – это платообразное водораздельное пространство, на котором нет стока (рис. 2). Однако в некоторых местах участка отмечаются понижения. В настоящее время диаметр этих понижений достигает 6–16 м, а длина до 26 м. По-видимому, это были самые глубокие понижения, достигавшие 1 м и более. За время сельскохозяйственного использования агросерых почв относительное превышение днища понижений над ее бортами достигло 30–40 см,

что дало основу развития плоскостного смыва мелкозема с бортов понижений и развитие ручейковой эрозии на бортах в сторону дна понижения. Структуру элювиального агроландшафта слагают несмытые, слабо-, средне- и сильносмытые и намытые почвы. В агроландшафте преобладает элементарный почвенный ареал (ЭПА) с несмытой почвой.

Транселювиальный агроландшафт в микрорельефе занимает пологие склоны. Здесь отмечаются замкнутые повышения и понижения. Транселювиальный агроландшафт слагают несмытые, слабо-, средне-, сильносмытые и намытые почвы. Преобладает ЭПА со слабосмытой почвой.

Трансаккумулятивный агроландшафт в микрорельефе местности занимает палеокриогенные трещины и полосы стока. По конфигурации расположение трещин имеет гексагональную форму [3, 9]. Структуру трансаккумулятивного агроландшафта слагают ЭПА сильно- и среднесмытых и намытых почв. Преобладает ЭПА сильносмытой почвы. Столь сложное строение трансаккумулятивного агроландшафта объясняется стадийностью формирования намытых и смытых почв. В начальный период сельскохозяйственного использования почв

преобладал трансаккумулятивный процесс переноса и аккумуляции мелкозема в нижних частях полос стока на более выровненных участках. Когда высота отложения мелкозема достигла уровня водотока, возникла запруда. Возникновение запруды из мелкозема явилось началом смыва почвы вниз по направлению стока. С этого момента мелкозем запруды стал смываться, а трансаккумулятивный агроландшафт стал постепенно превращаться в полосу стока. Остатки мелкозема бывших трансаккумулятивных процессов в форме намытых бугорков отмечаются в современных полосах стока.

Преобладание в трансаккумулятивном агроландшафте сильносмытой почвы объясняется ежегодной вспашкой, дискованием и боронованием в период сельскохозяйственного использования. Сельскохозяйственная обработка резко снижала противоэрозионную устойчивость и увеличивала вынос мелкозема с поверхностным стоком, что в итоге изменило свойства почвы [34].

Полосы стока. Со временем при протаивании снега весенний сток и осадки теплого периода года переработали стенки криогенных трещин, превратив трещины в рельефе агроландшафта в широкие полосы стока. Полосы стока — это зона выноса и развития аккумуляции мелкозема в отдельных выровненных местах. В настоящее время мощность смытого слоя почвы здесь достигает 30–40 см, а в некоторых случаях 50–60 см и более. Аналогичная закономерность развития эрозионных процессов при сельскохозяйственном использовании агросерых почв отмечается и в других регионах России [10].

Замкнутые понижения отмечаются на всех выделенных агроландшафтах (рис. 1). На экспериментальном участке присутствуют замкнутые понижения двух типов. Первый тип наблюдается, как правило, в трансаккумулятивном агроландшафте. Это часть полосы стока, вытянутая вдоль склона, а нижняя ее часть, по той или иной причине, перекрыта материалом эрозионного потока, образовав поперечную перемычку. В верхней и средней частях такого рода замкнутых понижений формируются сильносмытые агросерые почвы.

Второй тип замкнутых понижений сформирован на выровненных и пологонаклоненных участках. В настоящее время днища западин пересекают выровненные пространства блочных структур. Выявленные полигональные блочные структуры — это реликтовый микрорельеф плейстоценовых криогенных процессов, сформировавших полигонально-блочный микрорельеф [2]. Образованные таким механизмом западины напоминают замкнутые блюдцеобразные понижения. Относительное превышение поверхности блочных структур над днищем западин достигает 35–50 см.

Таким образом, структуру почвенного покрова каждого агроландшафта составляет сочетание почв с

различной степенью нарушения эрозионными процессами.

Палеокриогенез как фактор формирования морфологических особенностей профилей почв в агроландшафтах. Несмытые агросерые почвы занимают плоские водораздельные поверхности. На них хорошо выражена блочная полигональность. Вершины блоков слабо заметны, они округлой формы. Межблочные трещины оплывли и представляют собой вытянутые неглубокие ложбины. Относительное превышение блока и межблочья достигает 34 см, иногда больше. В почвах элювиального агроландшафта, приуроченных к блочным палеокриогенным структурам, отмечаются четырехчленные отложения. Верхний слой до глубины 30 см представлен средним суглинком (рис. 3). На глубине 30–100 см находится тяжелый суглинок, который сменяется с глубины 100 см легкой глиной. Легкая глина на глубине 240 см сменяется тяжелым суглинком, который отмечается до глубины 300 см. Пахотный горизонт намытой агросерой почвы при распашке на глубину 30 см представлял собой перемешанные верхние генетические горизонты суглинистой почвы. При переходе вспашки до глубины 20 см в слое 20–30 см почва уплотнилась, и сформировалась плужная подошва (разрез 1). В профиле несмытой агросерой почвы ниже подпахотного горизонта залегают горизонты Aha, AhaBt1, Bt2, Bt3 и BC.

Слабосмытые агросерые почвы занимают трансэлювиальный агроландшафт. Они отмечены и в трансаккумулятивном агроландшафте. В элювиальном агроландшафте слабосмытые агросерые почвы занимают склоны палеокриогенных понижений. Слабосмытые агросерые почвы слагают девятичленные отложения различного гранулометрического состава. На глубине 0–25 и 140–160 см отмечается средний суглинок. В профиле слабосмытой агросерой почвы тяжелый суглинок отмечается на глубине 25–50, 70–90, 100–140 и 220–300 см. В профиле почвы тяжелый суглинок подстилается легкой глиной на глубине 50–70, 90–100 и 160–220 см. В ЭПА слабосмытой агросерой почвы эрозионные процессы смыли часть верхнего среднесуглинистого пахотного горизонта. В этих почвах ежегодная вспашка на глубину 30 см припахивала 5 см нижележащего тяжелого суглинка (разрез 2), компенсируя верхний слой 0–5 см пахотного горизонта, смытый эрозионными процессами. В слабосмытых почвах пахотным горизонтом является средний суглинок. В профиле слабосмытой агросерой почвы ниже подпахотного горизонта отмечаются горизонты Aha, AhaBt, Bt1, Bt2, Bt3 и BC.

Среднесмытые агросерые почвы формируются на склонах в условиях развитых эрозионных процессов. Эти почвы не образуют сплошного ареала,

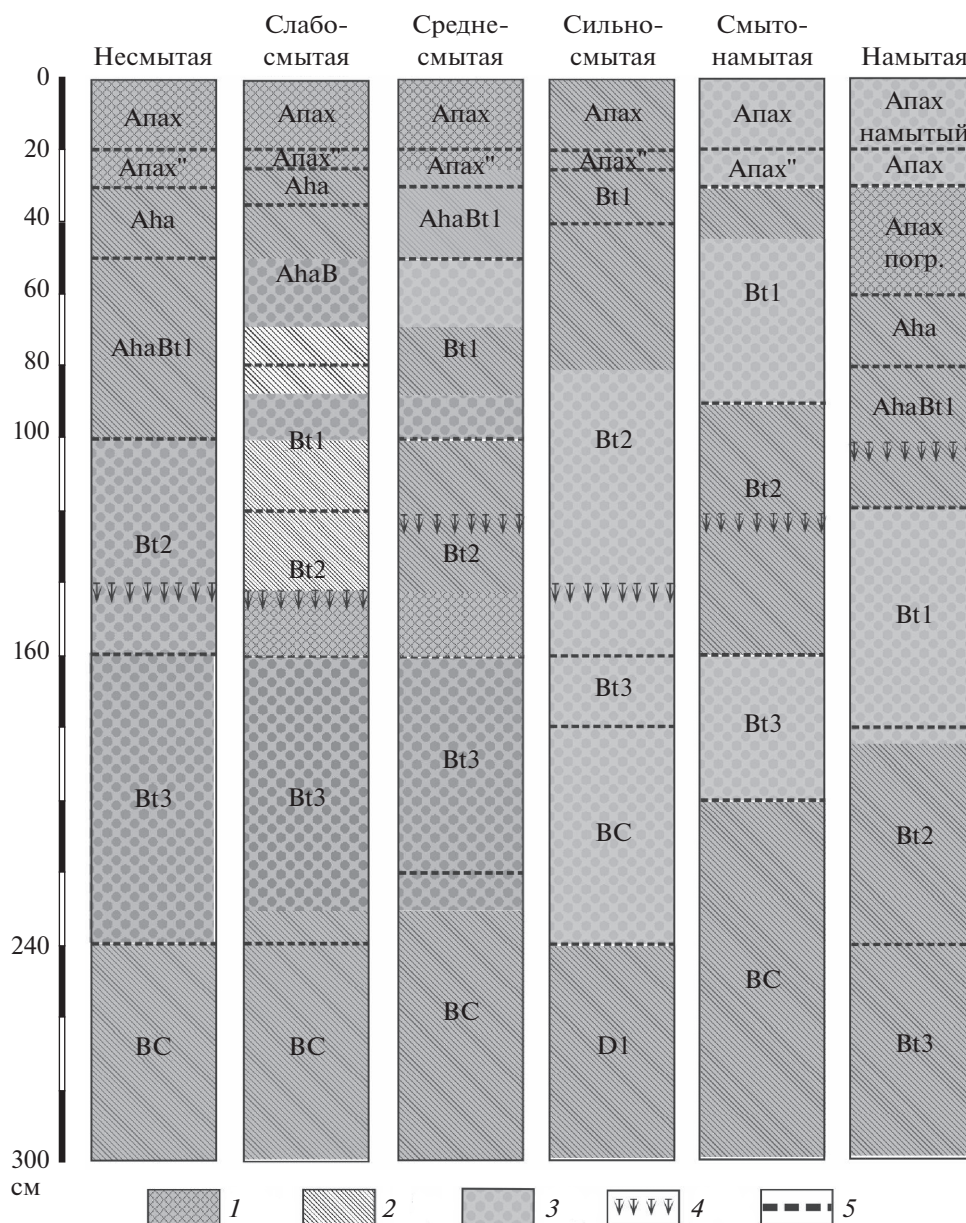


Рис. 3. Генетические горизонты агросерых почв и гранулометрический состав фрагментов почв плейстоценового периода почвообразования: 1 – средний суглинок, 2 – тяжелый суглинок, 3 – легкая глина, 4 – граница аккумуляции карбонатов, 5 – границы почвенных горизонтов.

а вкраплены в рельеф в виде небольших эллипсоидных пятен. На этих участках эрозийными процессами смыты верхние горизонты почвы, в результате чего пахотным горизонтом является второй гумусовый горизонт, а на отдельных участках к нему припахивается горизонт АхаВt1. Агросерые почвы слагают девятичленные отложения. Верхний 0–25 см слой представлен средним суглинком. Ниже глубины 25 см средний суглинок сменяется тяжелым суглинком. Тяжелый суглинок отмечается на глубинах 25–50, 70–90, 100–140 и 220–300 см. На глубине 140–160 см выделяется средний суглинок. Слой тяжелого суглинка раз-

деляется легкой глиной на глубинах 50–70, 90–100 и 160–220 см. При вспашке на глубину 20 см пахотным горизонтом среднесмытой агросерой почвы является средний суглинок. При вспашке на глубину 30 см к пахотному горизонту припахивался нижележащий тяжелый суглинок. В профиле среднесмытой агросерой почвы ниже подпахотного горизонта отмечаются горизонты АхаВt1, Вt1, Вt2, Вt3 и ВС (рис. 3).

Сильносмытые агросерые почвы формируются на эрозийных полосах стока по месту криогенных трещин полигонов. Контуры сильносмытых почв врезаны на глубину 30–50 см, а в отдель-

ных местах до 60–70 см. В пахотных серых почвах верхняя среднесуглинистая часть профиля почвы смыта эрозионными процессами. В профиле таких почв пахотный слой представлен нижележащим тяжелым суглинком. В сильносмытых агросерых почвах тяжелый суглинок на глубине 80 см сменяется легкой глиной. В свою очередь легкая глина на глубине 240 см сменяется тяжелым суглинком. Профиль, включая генетические горизонты сильносмытой почвы, представлен трехчленной слоистой текстурой. В профиле сильносмытой агросерой почвы ниже подпахотного горизонта отмечаются горизонты Bt1, Bt2, Bt3, BC и D (рис. 3).

Смыто-намытая почва формируется в полосах стока в нижних ее элементах. Отличительной особенностью смыто-намытой агросерой почвы является то, что приносимый с вышележащих по рельефу почв мелкозем откладывается на участке с сильносмытой почвой. В смыто-намытой почве пахотный горизонт представлен намытым мелкоземом. В отдельных местах мощность намытого мелкозема может достигать 30 см. Однако в местах, где приход мелкозема ограничен, мощность намытого мелкозема может достигать 5–10 см, и, тогда пахотный горизонт представляет собой смесь намытого мелкозема с горизонтом Bt1. В данном случае приведено описание разреза смыто-намытой почвы, в котором мощность намытого мелкозема достигает 30 см. В смыто-намытой агросерой почве пахотный слой (0–20 см) и подпахотная плужная подошва (20–30 см) представлены легкой глиной. Ниже по профилю почвы на глубине 45–90 и 160–200 см отмечаются слои легкой глины, а на глубине 30–45, 90–160 и 200–300 см – слои тяжелого суглинка. В смыто-намытой агросерой почве ниже подпахотного горизонта выделяются горизонты Bt1, Bt2, Bt3 и BC (рис. 3).

Профиль намытой почвы представлен шести-членной слоистой текстурой. Намытая агросерая почва отличается тем, что на несмытую пахотную агросерую тяжелосуглинистую почву намывается мелкозем легкой глины. Мощность намытого мелкозема достигает 30 см. В результате пахотный горизонт и плужная подошва представляют собой мелкозем легкой глины. Профиль почвы, включая намытый слой легкой глины, представлен пятичленной слоистой текстурой. В намытой агросерой почве ниже подпахотного горизонта выделяются горизонты Aпах, погр, Aha, AhaBt1, Bt1, Bt2, Bt3 Bt1, Bt2 и Bt3 (рис. 3).

Карбонаты. По содержанию карбонатов исследуемые агросерые почвы делятся на карбонатные и бескарбонатные. К карбонатным агросерым почвам отнесены почвы блочных структур элювиального агроландшафта, в которых карбонаты отмечаются в профиле почвы ниже 80–100 см. Наличие карбонатов в нижних слоях современных аг-

росерых почв дает основание говорить, с одной стороны, об элювиально-иллювиальных процессах перераспределения карбонатов, о выщелачивании карбонатов из верхних горизонтов и миграции их в нижние. С другой стороны, присутствие карбонатов и равномерное распределение в различных по гранулометрическому составу слоях (Bt1, Bt2 и Bt3) свидетельствует о том, что эта часть профиля почвы, состоящая из мелкозема почв плейстоценового периода почвообразования, сформировалась в период межледникового климатического оптимума, при степном типе почвообразования. Она была разрушена, перенесена и перетолжена флювиогляциальными водами при неоднократном наступлении и отступлении ледника.

Для верхней, бескарбонатной части профиля почвы пологих склонов и полос стока трансэлювиального и трансаккумулятивного агроландшафтов характерна кислая реакция среды.

Распределение органического углерода в почвах. По содержанию органического углерода профили исследуемых почв можно поделить на верхнюю часть, в которой углерод современного почвообразования наложился на мелкозем палеопочвы, переотложенный перегляциальными водами. В верхней части профиля несмытых агросерых почв содержание органического углерода снижается от 1.15 в слое 0–5 см до 0.12% на глубине 90–100 см. В нижележащих слоях почвы, различных по гранулометрическому составу до глубины 3.0 м, содержание органического углерода изменяется от 0.09 до 0.06%.

В слабосмытых почвах содержание органического углерода уменьшается постепенно от 1.14 на глубине 5 см до 0.11% на глубине 220 см. А в нижележащих слоях профиля изменяется в пределах от 0.06 до 0.08%. Глубокое проникновения гумуса объясняется тем, что почвенным разрезом была вскрыта трещина, засыпанная мелкоземом гумусового горизонта.

В среднесмытых агросерых почвах содержание органического углерода уменьшается от 1.1 на глубине 0–20 см до 0.17% на глубине 120–140 см. До глубины 3 м содержание органического углерода изменяется в пределах от 0.06 до 0.03%.

В сильносмытых почвах количество органического углерода снижается от 0.8 на глубине 0–20 см до 0.17% на глубине 90–100 см, достигая минимальных значений 0.05% на глубине 280–300 см.

В смыто-намытых почвах содержание органического углерода постепенно уменьшается от 1.22 на глубине 0–5 см до 0.12% на глубине 80–90 см; ниже по профилю почвы – от 0.08 на глубине 90–100 см до 0.05% на глубине 280–300 см.

В намытых почвах содержание органического углерода постепенно уменьшается с 1.28 на глубине 0–5 см до 0.11% на глубине 240–260 см; ниже

по профилю почвы – до 0.06% на глубине 260–300 см. Содержание и характер распределения органического углерода в намывных почвах аналогичны слабосмытым почвам.

Морфологическое описание почвенных припок и опорных разрезов, заложенных на палеокриогенных формах микрорельефа экспериментального участка, и данные лабораторных исследований свидетельствуют о сложной истории формирования современной агросерой почвы в условиях палеокриогенеза на уровне структуры почвенного покрова, морфологии и свойств в плейстоценовый и голоценовый периоды.

Выявленные палеокриогенные формы микрорельефа явились природным механизмом в формировании комплексной структуры почвенного покрова агроценоза на уровне элювиального, трансэлювиального и трансаккумулятивного агроландшафтов. Для каждого из выделенных агроландшафтов характерно определенное сочетание эрозионно-нарушенных почв.

В формировании морфологических профилей почв в условиях палеокриогенеза можно выделить три периода.

Первый период связывается с формированием минерального профиля исследуемых почв. В современной агросерой почве выделяется карбонатная часть профиля и бескарбонатная. Наличие в профиле почвы карбонатов, преобладание в гранулометрическом составе крупнопылевых фракций, щелочная реакция среды и равномерное распределение органического углерода в толще отложений свидетельствует о том, что этот слой сформировался при разрушении, переносе и аккумуляции мелкозема почвы степного типа почвообразования перегляциальными водами при отступлении ледника в плейстоцен-голоценовое время. Эта криоаридная карбонатная почва погребена в исследуемых почвах на глубине ниже 80–180 см.

Верхнюю часть профилей исследуемых почв до глубины 80–180 см слагают от 2 до 7 слоев разного гранулометрического состава. В каждом слое отсутствуют карбонаты, кислая реакция среды, равномерное распределение органического углерода. Такое распределение признаков в профиле исследуемых почв указывает на то, что эти слои формировались при разрушении, переносе и аккумуляции мелкозема почвы криогумидного типа почвообразования перегляциальными водами при неоднократном наступлении и отступлении ледника.

Гранулометрический состав почв. Принято считать, что почвообразующей породой серых лесных почв являются покровные лёссовидные суглинки. В свою очередь, они рассматриваются как продукт флювиогляциальных процессов, как эоловые и де-

лювиальные образования, как продукты переработки морены солифлюкционными и нивальными процессами [18, 19, 23–28, 30, 31].

По данным гранулометрического состава, агросерые почвы представлены средними и тяжелыми суглинками, а также легкой глиной. Характерной чертой агросерых почв является преобладание крупнопылевой фракции, составляющей 43–58% от общей массы. Содержание илстой фракции может достигать 30–35%, при этом в гранулометрическом составе практически отсутствуют фракции крупного и среднего песка.

В формировании гранулометрического состава покровных лёссовидных суглинков особую роль сыграло валдайское (последнее) оледенение, в условиях которого был широко развит палеокриогенез [2]. По исследованиям [20–28] конечным продуктом выветривания в условиях криогенеза (периодическое промерзание–протаивание) является фракция крупной пыли. Это свидетельствует о том, что в четвертичный период ведущим процессом в выветривании пород был палеокриогенез. Высказанное положение о ведущем криогенном процессе выветривания пород подтверждают данные гранулометрического состава исследуемых почв. В гранулометрическом составе почв разной степени смытости преобладает фракция крупной пыли. Ее содержание до глубины 3 м остается примерно постоянным во всех выявленных слоях профиля почвы по грансоставу.

Анализируя гранулометрический состав почв с различной степенью эродированности, можно заключить, что профиль исследованных почв представлен слоистыми отложениями, выполненными средними и тяжелыми суглинками, а также легкими глинами. В профиле почв характер залегания слоев различного гранулометрического состава носит линзовидный прерывистый характер, при котором на одной и той же глубине можно встретить в одном месте легкую глину, а в другом – средний или тяжелый суглинок. Формирование слоистых отложений разного состава мы связываем с разрушением почвенного покрова, переносом и аккумуляцией мелкозема почв, сформированных в межледниковые периоды, флювиогляциальными водами при неоднократном наступлении и отступлении ледника.

Различие по гранулометрическому составу отложений объясняется различной скоростью потока перегляциальных вод. Увеличение скорости перегляциального потока сопровождалось выпадением в осадок облегченного суглинистого осадка, а замедление скорости перегляциального потока – формированием глинистого осадка [18, 19].

Второй период развития серой лесной почвы связывается с наложением продуктов почвообразования голоценового периода на слоистый ми-

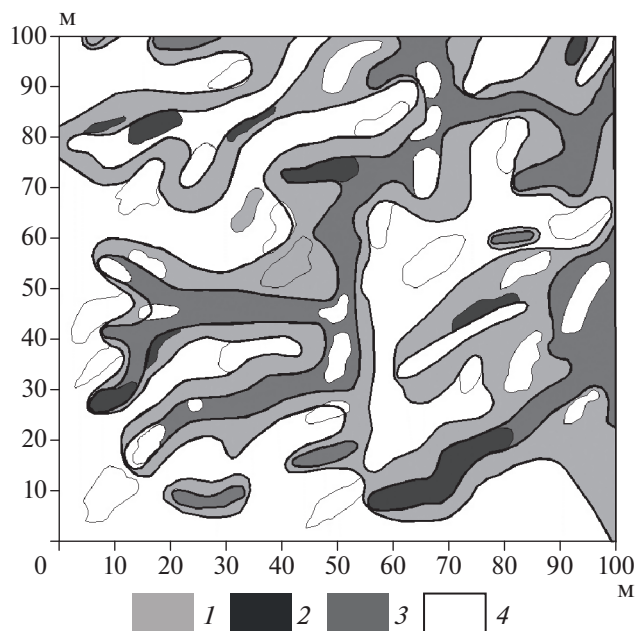


Рис. 4. Количество смытого мелкозема и смытого гумуса с почв разной смытости. Мелкозем: 1 – 1300 т/га, слабосмытая почва; 2 – 2860 т/га, среднесмытая почва; 3 – 5996 т/га, сильносмытая почва; 4 – почвы, не подверженные смыву. Гумус: 1 – 28 т/га, слабосмытая почва; 2 – 60 т/га, среднесмытая почва; 3 – 85 т/га, сильносмытая почва; 4 – почвы, не подверженные смыву.

неральный профиль фрагментов почв предшествующих стадий [2–6]. Относительно слоистости профиля агросерых почв есть концепция, по которой некоторые почвенные горизонты, входящие в систему иллювиальных, сами являются самостоятельными почвенными образованиями, состоящие из 2–3 парагенетических горизонтов, в основном гумусового, подгумусового и иногда горизонта С. Эти первичные слабовыраженные почвы называются элементарными почвенными образованиями (ЭПО). При этом самое раннее ЭПО сформировалось в пущинской почве, возраст которой 18800 ± 1200 лет [12]. В заключении делается вывод, что современные, в частности, серые почвы, представляют собой гипотетический семичленный профиль, каждый из компонентов которого является самостоятельным ЭПО. Причем каждому компоненту характерна своя почва. Кроме того, второй период характеризуется мерзлотным криогумидным типом почвообразования, формирующим в структуре почвенного покрова палеокриогенные полигонально-блочные формы микрорельефа, мерзлотные микроповышения, микропонижения, мерзлотные трещины и другие палеокриогенные явления.

При описании морфологического строения агросерых почв отмечаются криогенные клинья, карманы, трещины, языки. Они выделяются как

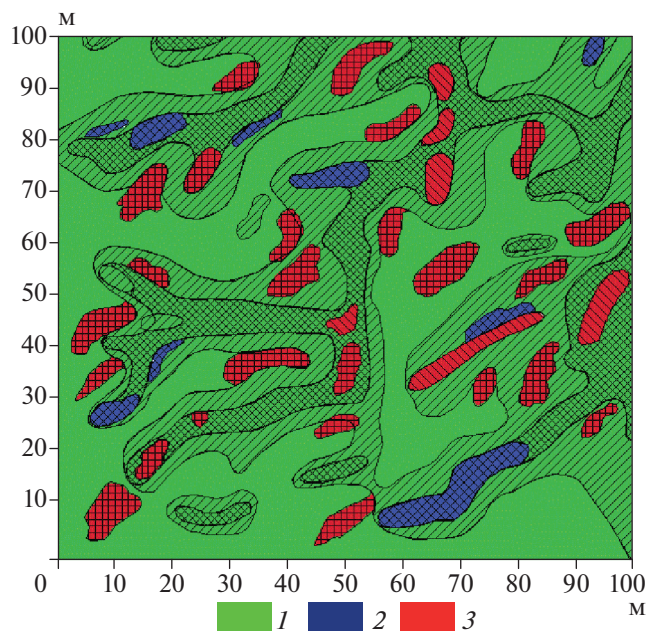


Рис. 5. Гранулометрический состав пахотного горизонта агросерой почвы: 1 – средний суглинок, 2 – тяжелый суглинок, 3 – легкая глина.

по форме, так и по вмещающему их заполнителю. Заполнителем криогенных образований является гумусированный мелкозем вышележащего горизонта. Формирование палеокриогенных клиновидных структур, карманов, языков в профиле серых почв началось после того, как сформировался достаточно мощный верхний гумусовый горизонт, материалом которого заполнены эти криогенные текстуры. Выделенные почвенные разности агросерых почв агроландшафтов различаются между собой как набором, так и мощностью генетических горизонтов. В их морфологическом строении отмечается общая закономерность. Она заключается в том, что верхние горизонты имеют различную степень смытости мелкозема. А для горизонтов AhaBt1, Bt1, Bt2 и Bt3 характерны общие признаки, такие как кремнеземистая присыпка горизонта AhaBt1, глянцевые пленки горизонтов Bt1, Bt2 и Bt3, однотипная трещиноватость, сизые пятна оглеения, охристые полосы и пятна, наличие в несмытых, слабосмытых и намытых почвах в верхней части профиля второго гумусового горизонта (ВГГ). По своим свойствам ВГГ имеет более темную окраску, он с кремнеземистой присыпкой, хорошо выделяется в профиле почвы. Второй гумусовый горизонт формируется на глубине 30–50 см, в некоторых случаях достигает 65 см. Впервые ВГГ был отмечен в профиле почв отрицательных форм рельефа в окрестностях г. Брянска. Стадия формирования почв с ВГГ отнесена к суббореальному периоду [9]. По существу, это последний этап палеокриогенеза плей-

стоцена (примерно до 14 тыс. л. н.) [1, 35]. Однако почвы с ВГГ приурочены не только к межблочным понижениям, но и к центральным частям блока. В почвах центра полигональных блоков ВГГ встречается фрагментарно [2].

Третий, современный, период развития характеризуется развитием бывшей серой почвы в условиях агроценоза. Ежегодная вспашка серой почвы при низком содержании водопрочных структурных агрегатов привела к развитию эрозионных процессов выноса мелкозема (рис. 4) и органического углерода (рис. 5), сформировав пространственную неоднородность структуры пахотного горизонта с включением в нее слабо-, средне- и сильноэродированных агросерых почв. Эрозионные процессы смыва верхних горизонтов почв обнажили на поверхность нижележащие слои палеопочв суглинистого и глинистого гранулометрического состава, сформировав комплексную структуру пахотного горизонта агросерых почв экспериментального участка на видовом уровне (рис. 5).

ВЫВОДЫ

1. Применение метода морфоизограф при картировании позволило выявить на экспериментальном участке платообразные полигонально-блочные структуры, микроповышения, склоны, полосы стока и замкнутые понижения палеокриогенных форм микрорельефа.

2. Выявленные палеокриогенные формы микрорельефа явились природным механизмом формирования комплексной структуры почвенного покрова агроценоза на уровне элювиального, трансэлювиального и трансаккумулятивного агроландшафтов.

3. Показано, что каждому выделенному агроландшафту характерно определенное сочетание разновидностей эрозионно-нарушенных почв.

4. Современная хозяйственная деятельность человека наложилась на палеокриогенные формы микрорельефа, которые явились начальным механизмом развития эрозионных процессов выноса мелкозема пахотного горизонта, обнажая на поверхность нижележащие слои почв различного гранулометрического состава, формируя комплексную структуру эрозионно-нарушенных почв почвенного покрова каждого агроландшафта на уровне разновидности агросерых почв.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена по теме государственного задания № 0191-2019-0046.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александровский А.Л., Чичагова О.А.* Радиоуглеродный возраст палеопочв голоцена в лесостепи Восточной Европы // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1414–1422.
2. *Алифанов В.М.* Палеокриогенез и современное почвообразование. Пушкино, 1995. 318 с.
3. *Алифанов В.М., Гугалинская Л.А.* Палеогидроморфизм, палеокриогенез и морфолитопедогенез черноземов // Почвоведение 2005. № 3. С. 309–315.
4. *Алифанов В.М., Гугалинская Л.А.* Особенности формирования почвообразующих пород голоценовых почв в поздневалдайское время в центре Восточно-Европейской равнины // Биосферные функции почвенного покрова. Пушкино, 2010. С. 13–14.
5. *Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю.* Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. М.: ГЕОС, 2010. 159 с.
6. *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.
7. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
8. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 398 с.
9. *Величко А.А., Морозова Т.Д.* Стадийность развития и палеогеографическая унаследованность признаков современных почв Русской равнины // Проблемы региональной и общей палеогеографии лесовых и перигляциальных областей. М., 1975. С. 102–122.
10. *Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Хабиров И.К., Комиссаров М.А., Фрюауф М., Либельт П., Гарипов Т.Т., Сидорова Л.В., Хазиев Ф.Х.* Изменение эродированных почв во времени в зависимости от их сельскохозяйственного использования в Южном Предуралье // Почвоведение. 2016. № 10. С. 1277–1283. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16100075>
11. *Гонп Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В., Смирнов В.В.* Методы геоморфометрии и цифрового картографирования для оценки пространственной изменчивости свойств агросерой почвы склона // Почвоведение. 2017. № 1. С. 24–34. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010087>
12. *Гугалинская Л.А., Алифанов В.М.* Гипотетический литогенный профиль суглинистых почв центра Русской равнины // Почвоведение. 2000. № 1. С. 102–113.
13. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 320 с.
14. *Зайдельман Ф.Р.* Гидроморфные почвы // Почвоведение. 2003. № 8. С. 911–921.
15. *Качинский Н.А.* Физика почвы. Ч. 1. Водно-физические свойства и режимы почв. М.: Высшая школа, 1970. 359 с.
16. *Кирюшин В.И.* Агроэкологическая классификация земель как основа формирования систем земледелия // Почвоведение. 1997. № 1. С. 79–87.
17. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

18. Ковда В.А. Основы учения о почвах. М.: Наука, 1973. Кн. 1. 447 с.
19. Ковда В.А., Розанов Б.Г. Почвоведение. М.: Высшая школа, 1988. Ч. 1. С. 400.
20. Конищев В.Н. Особенности льдовыделения в сезонномерзлом слое и морфология покровных лессовидных образований Воркутского р-на // Подземный лед. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1965. Вып. 1. С. 172–182.
21. Конищев В.Н. Формирование дисперсных пород в криолитосфере. Новосибирск: Наука, 1981. 197 с.
22. Конищев В.Н., Рогов В.В. Микроморфология криогенных почв и грунтов // Почвоведение. 1977. № 2. С. 119–125.
23. Конищев В.Н., Фаутова М.А. Микростроение покровных лессовидных образований Большеземельской тундры // Геология кайнозоя севера Европейской части СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1966. С. 167–177.
24. Макеев А.О. Палеопочвоведение: состояние и перспективы (по материалам комиссии по палеопочвоведению) // Почвоведение. 2002. № 4. С. 398–411.
25. Макеев А.О., Дубровина И.В. География, генезис и эволюция почв Владимирского ополья // Почвоведение. 1990. № 7. С. 5–25.
26. Макеев А.О., Макеев О.В. Почвы с текстурно-дифференцированным профилем основных криогенных ареалов севера Русской равнины. Пушкино, 1989. 271 с.
27. Макеев А.О. Экологическая роль палеопочв в геологической истории Земли // Почвы в биосфере и жизни человека. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 2012. С. 183–283.
28. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (Атлас-монография) / Под ред. Герасимова И.П., Величко А.А. М.: Наука, 1982. 156 с.
29. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
30. Попов А.И. О происхождении покровных суглинков Русской равнины // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1953. № 5. С. 30–41.
31. Попов А.И. Покровные суглинки и полигональный рельеф Большеземельской тундры // Вопросы географического мерзлотоведения и перигляциальной морфологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. С. 109–130.
32. Степанов И.Н. Формы в мире почв. М.: Наука, 1987. 190 с.
33. Степанов И.Н. Внедрение в картографию почвенно-геологических образов – потоковых структур // Почвоведение. 1995. № 6. С. 681–694.
34. Хитров Н.Б. Подход к ретроспективной оценке изменения состояния почв во времени // Почвоведение. 2008. № 8. С. 899–912.
35. Хохлова О.С., Сычева С.А., Седов С.Н. Длительность почвообразования Брянской палеопочвы Среднерусской возвышенности по разным датированным материалам // Бюл. комиссии по изучению четвертичного периода. 2015. № 74. С. 53–68.
36. Шеин Е.В., Иванов А.Л., Бутылкина М.А., Мазиров М.А. Пространственно-временная изменчивость агрофизических свойств комплекса серых лесных почв в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2001. № 5. С. 578–585.
37. Шеин Е.В., Кирюшин В.И., Корчагин А.А., Мазиров М.А., Дембовецкий А.В., Ильин Л.И. Оценка агрономической однородности и совместимости почвенного покрова Владимирского ополья // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1208–1215. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17100112>

Paleocryogenesis as a Factor of Heterogeneity of Agrogray Soil

O. I. Khudyakov^{1, *}, V. M. Alifanov¹, P. A. Pletenev², A. Yu. Ovchinnikov¹,
O. V. Reshotkin¹, and A. V. Bukhonov¹

¹Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, 142290 Russia

²Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Rospotrebnadzor, Mytishchi, 141014 Russia

*e-mail: oix@rambler.ru

Delineation of paleocryogenic forms of microrelief according to the method zero curvature morphoisographs for a test plot in the south of Moscow oblast allowed us to reveal the polygonal-blocky microrelief (microhighs and microlows, slopes, and runoff strips) forming eluvial, transeluvial, and transaccumulative agrolandscapes. The soil cover pattern of eluvial agrolandscape includes elementary soil areas of noneroded, slightly eroded, moderately eroded, and aggraded soils. Noneroded soils predominate in the agrolandscape. The soil cover pattern of transeluvial agrolandscapes and microlows includes elementary soil areas of slightly, moderately, and strongly eroded soils, as well as eroded–aggraded and aggraded soils, with a predominance of slightly eroded soils. The soil cover pattern of transaccumulative agrolandscapes also includes elementary soil areas of slightly, moderately, and strongly eroded soils; eroded–aggraded soils; and aggraded soils with a predominance of strongly eroded soils. In the course of the long-term (200 years) agricultural use of this territory, the paleocryogenic microrelief served as the initial factor of the development of elementary soil areas with different degrees of erosion. In the areas with washed off upper horizons, underlying horizons of different texture become exposed to the surface. Thus, on the studied plot, we have identified silt loamy, clay loamy, and clayey horizons exposed to the surface. This creates a complex soil cover pattern with differentiation of soils at the level of varieties (in Russian soil classification system, a taxonomic category based on the topsoil texture).

Keywords: paleocryogenesis, elementary soil area, agrolandscape