

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 631.4:551.4

DOI: 10.15372/GIPR20240409

Д.А. КАВЕРИН, А.В. ПАСТУХОВ, Е.М. ЛАПТЕВА

Институт биологии Коми научного центра УрО РАН — обособленное подразделение  
Федерального исследовательского центра «Коми научный центр УрО РАН»,  
167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28, Россия,  
dkav@mail.ru, alpast@mail.ru, elena.lapteva.60@mail.ru

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ НА ПРЕДГОРНЫХ РАВНИНАХ СУБАРКТИКИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Выполнен географический анализ пространственной дифференциации почвенного покрова предгорных равнин северо-востока Европейской России. Выявлены географические закономерности распространения почв, дифференцированных по глубине залегания кровли многолетнемерзлых пород, с учетом биоклиматической и геокриологической зональности в регионе. Исследования проведены в типичной и южной тундре, лесотундре и крайнесеверной тайге со сплошным, прерывистым, массивно-островным и островным распространением многолетнемерзлых пород. При изучении почвенного покрова применили классификационные критерии, выделяющие мелкомерзлотные, среднеглубинные мерзлотные, глубокомерзлотные и немерзлотные (сезоннопромерзающие) почвы. Выявлено, что широтная смена геокриологических и биоклиматических условий сопровождается значительными пространственными изменениями почвенного покрова. Мелкомерзлотные и среднеглубинные мерзлотные почвы широко распространены в северной части региональной криолитозоны, глубокомерзлотные — в южной. Установлено, что при географическом анализе почвы региональной криолитозоны целесообразно разделять на группы профилей: мерзлотные с близким залеганием многолетнемерзлой кровли, сезоннопромерзающие почвы с заглубленным залеганием многолетнемерзлой кровли и сезоннопромерзающие почвы на талых почвообразующих породах. В северной лесотундре в условиях массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород резко снижается доля мерзлотных почв с близким залеганием многолетнемерзлой кровли. Значительное снижение доли почв, функционирующих на заглубленных многолетнемерзлых породах, наблюдается южнее — в крайнесеверной тайге с островным распространением многолетнемерзлых пород. Сделан вывод, что почвообразующие породы в значительной мере определяют пространственную дифференциацию мерзлотных почв, особенно в северной части региональной криолитозоны, а растительный покров во многом определяет распространение мерзлотных почв в южной криолитозоне.

**Ключевые слова:** почвенный покров, сезонно-таль слой, криолитозона, четвертичные отложения, предгорья, классификационные критерии.

Д.А. КАВЕРИН, А.В. ПАСТУХОВ, Е.М. ЛАПТЕВА

Institute of Biology, Komi Science Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,  
167982, Syktyvkar, ul. Kommunisticheskaya, 28, Russia,  
dkav@mail.ru, alpast@mail.ru, elena.lapteva.60@mail.ru

### DISTRIBUTION PATTERNS OF PERMAFROST-AFFECTED SOILS ON THE PIEDMONT PLAINS OF THE SUBARCTIC IN THE EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA

*A geoinformation analysis of the spatial differentiation of the soil cover of the piedmont plains in the northeastern part of European Russia has been carried out. Geographical distribution patterns of soils differentiated by the active layer thickness have*

*been identified, taking into account the bioclimatic and geocryological zoning in the region. The studies were carried out in typical and southern tundra, forest-tundra and northernmost taiga with continuous, discontinuous, massive-island and island distribution of permafrost. In studying the soil cover, classification criteria were used, which distinguished shallow and medium-depth permafrost, deep-permafrost and non-permafrost (seasonally freezing) soils. Latitudinal changes in geocryological and bioclimatic conditions are accompanied by significant spatial changes in soil cover. Shallow and medium-deep permafrost-affected soils are widespread in the northern part of the regional permafrost zone, and deep-permafrost soils are widespread in the southern part. When analyzing the soil cover geographically, it is advisable to divide the soils of the regional permafrost zone into groups of profiles: permafrost-affected soils with a shallow occurrence of the permafrost table, seasonally freezing soils with a deep occurrence of the permafrost table, and seasonally freezing soils on thawed soil-forming deposits. In the northern forest-tundra, under conditions of massive island permafrost distribution, the proportion of permafrost-affected soils with a shallow permafrost table is sharply decreased. A significant decrease in the portion of soils functioning on deep permafrost is observed further south, i.e. in the northernmost taiga with an island permafrost distribution. Soil-forming deposits largely determine the spatial differentiation of permafrost-affected soils, especially in the northern part of the regional permafrost zone. Vegetation cover largely determines the distribution of permafrost-affected soils in the southern permafrost zone.*

**Keywords:** soil cover, seasonally thawed layer, permafrost zone, quaternary deposits, foothills, classification criteria.

## ВВЕДЕНИЕ

Мерзлотные почвы играют большую роль в глобальном потеплении [1, 2]. Глубина сезонного протаивания — одна из главных характеристик состояния почв и почвообразующих пород ландшафтов криолитозоны [3]. Сезонно-тальный слой определяет основные экологические функции почв холодных регионов, их гидрологические режимы и биохимические процессы [4, 5]. Исследования пространственных закономерностей дифференциации глубины сезонного протаивания необходимы для понимания и проектирования отклика мерзлотных почв с учетом подстилающих многолетнемерзлых пород (ММП) на климатические изменения. Учет данной глубины способствует совершенствованию современной классификации почв криолитозоны, где для многих типов почв предусмотрены мерзлотные подтипы [6].

Крайний Северо-Восток Европейской России является уникальным регионом криолитозоны благодаря разнообразию биоклиматических и геокриологических условий, хорошей дренированности территории и относительно малой мощности почвообразующих (четвертичных) пород [7]. Близкое к поверхности залегание коренных (дочетвертичных) отложений с повышенной температуропроводностью обуславливает развитие обширных таликовых (немерзлотных) зон [8]. Почвенный покров крайнего Северо-Востока Европейской России достаточно хорошо исследован [4, 9]. Минералогопетрографическое разнообразие почвообразующих горных пород в предгорных районах Урала обуславливает формирование большой и разнообразной группы почв, в том числе мерзлотных [10]. Также в регионе дана достаточно подробная оценка мерзлотной обстановки [11–13]. В криолитозоне Европейского Северо-Востока России преобладает многолетнее оттаивание высокотемпературных ( $-2\ldots0^{\circ}\text{C}$ ) ММП [12, 14–16]. В регионе исследований южный предел распространения почв тундро-вьетнамских геосистем в основном совпадает с наиболее южными массивами ММП.

Вместе с тем для предгорной части Субарктики Европейского Северо-Востока России не проводилась оценка взаимосвязей почвенного покрова и геокриологической обстановки на ландшафтных уровнях с последующим выходом на региональные закономерности. Развитие геоинформационных систем предопределяет разработку новых способов построения и распространения географической информации о состоянии геосистем, в том числе почвенно-геокриологической информации [17].

Исследователи развития классификации почв России [6, 18] продолжают уделять пристальное внимание вопросам таксономии мерзлотных профилей [19]. Система субстантивно-генетической классификации построена на принципе генетичности, предполагающем разделение почв на основе системы генетических горизонтов. Многолетнемерзлые горизонты, как в нижней части профиля, так и в подстилающей толще почвообразующих пород, должны учитываться в данном аспекте. Ускоренное развитие геоинформационных методов исследований наряду с разработкой субстантивно-генетической классификации почв России [18] создали предпосылки для современного географического анализа почвенного покрова отдельных регионов криолитозоны, сформировавшегося в условиях геокриологической и литологической неоднородности.

Учитывая вышеизложенный комплекс факторов, поставлена задача настоящего исследования — выявление современных географических закономерностей распространения мерзлотных почв, функционирующих в различных биоклиматических, геокриологических и ландшафтных условиях предгорных равнин Субарктики Северо-Востока Европейской России.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Закономерности пространственной дифференциации почвенного покрова были исследованы в пяти районах, расположенных в субарктическом секторе Европейского Северо-Востока России (рис. 1). Район исследований I (р-н I) площадью 27 км<sup>2</sup> локализован на крайнем Северо-Востоке Большеземельской тундры, граничащей с предгорьями хр. Пай-Хой. Среди почвообразующих пород развиты эоплейстоценовые морские и ледово-морские отложения в пределах абсолютных высот 180–250 м [20]. Район I расположен в подзоне сплошного (100 %) распространения ММП мощностью 300–400 м [11, 21] в подзоне типичных тундр [22]. Согласно Атласу Архангельской области [23], здесь преобладают тундровые глеевые почвы в комплексе с тундровыми остаточно-глеевыми карбонатными, тундровые торфянисто-глеевые почвы в комплексе с тундровыми торфяно-глеевыми. Для болотных геосистем характерны торфянисто- и торфяно-глеевые почвы с мощностью торфяного горизонта 20–30 см [24].

Район исследований II (р-н II) площадью 34 км<sup>2</sup> расположен на границе Большеземельской тундры с северной частью Полярного Урала. В пределах высот 180–220 м над ур. моря широко распространены ледниковые карбонатные отложения [20]. Район II расположен в подзоне сплошного (~97 %) распространения ММП мощностью 200–300 м [11, 21] в подзоне южных тундр [22]. На участке развиты торфянисто- и торфяно-глеевые (в том числе карбонатные), перегнойно-глеевые карбонатные и болотные низинные торфяно-глеевые почвы [9].

Район исследований III (р-н III) площадью 59 км<sup>2</sup> расположен на предгорной равнине восточной окраины Большеземельской тундры, граничащей с хребтами Полярного Урала. На территории распространены ледниковые отложения — моренные суглинки в пределах абсолютных отметок 140–160 м над ур. моря. Район исследований расположен на границе подзон сплошного и прерывистого (~90 %) распространения ММП. Для территории характерны тундровые поверхностно-глеевые, болотно-тундровые торфянисто- и торфяно-глеевые, аллювиальные перегнойно-глеевые и торфяно-глеевые мерзлотные почвы [9].

Район исследований IV (р-н IV) площадью 95 км<sup>2</sup> расположен на юго-востоке Большеземельской тундры. Почвообразующими породами служат преимущественно ледниковые отложения, представленные в основном валунными моренными суглинками, а также песками и супесями водно-ледникового

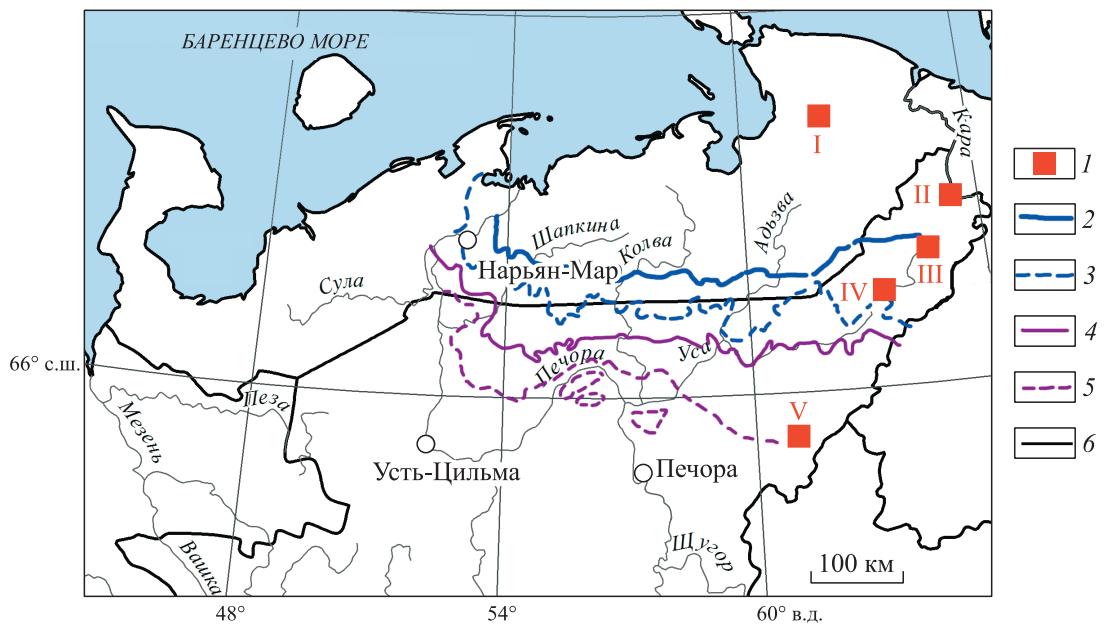


Рис. 1. Места расположения районов исследования на Северо-Востоке Европейской Субарктики.

1 — районы исследований и их номера (расшифровка приведена в тексте). Границы: 2 — южная сплошного распространения ММП; 3 — южная прерывистого распространения ММП; 4 — южная массивно-островного распространения ММП; 5 — южная островного распространения ММП [13]; 6 — административные границы регионов России.

происхождения [7, 25], абсолютные отметки поверхности — около 200 м над ур. моря. Район характеризуется массивно-островным распространением ММП (~50 %) мощностью 50–150 м. Здесь распространены тундровые поверхности-глеевые, торфянисто- и торфяно-глеевые мерзлотные почвы [9, 26].

Район исследований V (р-н V) площадью 344 км<sup>2</sup> расположен к югу от Большеземельской тундры в юго-восточной части бассейна р. Усы в предгорьях Приполярного Урала (высоты от 300 до 400 м над ур. моря). Среди почвообразующих пород преобладают ледниковые валунные супеси и элювиально-делювиальные образования с глыбами местных пород [27]. Район находится в биоклиматической подзоне крайнесеверной тайги с островным распространением ММП мощностью 0–25 м [11, 21]. Согласно листу Q-41 «Воркута» Государственной Почвенной карты [9], в районе распространены тундровые, болотно-тундровые торфяно-глеевые, остаточно-торфяные мерзлотные, болотные верховые торфяные, глеоподзолистые, торфяно- и торфянисто-подзолистые почвы и подзолы иллювиально-гумусово-железистые.

Основой для создания цифровых почвенных карт почв всех пяти районов исследований послужили спутниковые многозональные изображения Landsat 7 ETM+ и географически привязанные данные, полученные при полевых исследованиях. Работы проводились в период 2006–2016 гг., они включали в себя морфологические исследования почвенных разрезов, прикопок, геоботанические и ландшафтные описания. При построении почвенных карт выполняли преобразование всех материалов в заданную картографическую проекцию (UTM, эллипсоид WGS 1984, зона 41), тематическую обработку с использованием подготовленных изображений методом управляемой классификации в программном пакете ERDAS IMAGINE [28]. Данные полевых исследований (150–200 географически привязанных точек для каждого района исследований) представили в виде точечной темы шейп-файла, содержащей информацию о преобладающем типе почв и растительности. Точки с полевыми данными наложили на спутниковые изображения, в программном пакете ArcGis 9.0 провели геоботаническое дешифрирование спутниковых изображений с дальнейшей привязкой к почвам и другим ландшафтным характеристикам.

Почвенный покров не может полностью классифицироваться только на основе спутниковых изображений, содержащих информацию преимущественно о спектральных характеристиках растительности. Нанесение почвенных полигонов на карту должно базироваться на отношении: тип почвы = тип растительности + ландшафтные факторы, отражающие пространственную неоднородность рельефа и почвообразующих пород. С учетом этой информации карту растительности трансформировали в карту почв. При последующей обработке карты использовали цифровые модели рельефа SRTM с разрешением 90 м, содержащие значения высоты местности в каждом пикселе. Для уточнения пространственной локализации типов определены значения крутизны склонов. Для ареалов автоморфных почв характерны склоны со средними углами наклона  $>1,5^\circ$ , полугидроморфных и гидроморфных —  $<1,5^\circ$ . Более подробно методика создания крупномасштабных почвенных карт описана в одной из предыдущих работ [29].

В результате комплекса полевых и камеральных исследований составлены почвенные карты участков исследований масштаба 1:100 000. Как при полевых исследованиях (определение типов и подтипов почв), так и при построении почвенных карт использовали классификацию почв России [18].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА И ОБСУЖДЕНИЕ

Геоинформационный анализ пространственной неоднородности почвенного покрова в совокупности с принципами классификации почв России [18] показал, что в районе I доминируют глееземы (см. таблицу) в сочетании с локально (около 9 %) распространенными торфяно-глееземами. Относительная доля автоморфных почв значительно выше, чем полугидроморфных, что обусловлено спецификой геоморфологического развития предгорной цокольной равнины на границе с низкогорным кряжем Пай-Хой [30]. В почвенном покрове преобладают профили с глубиной залегания кровли ММП на уровне до 1–2 м (70 % от площади района), профили с заглубленной (2–3 м) многолетнемерзлой кровлей занимают около 22 %.

В районе II среди мерзлотных почв (63 %) значительную долю занимают торфяно-глееземы (36 %), на сезоннопромерзающие карбонатные торфяно-глееземы приходится аналогичная площадь (см. таблицу). Меньшую площадь занимают автоморфные мерзлотные почвы (26 %), при этом сезонноПромерзающие почвы автоморфных ландшафтов встречаются локально. Криогидроморфные почвы в районе исследований практически не развиты, приурочены большей частью к поймам рек и ручьев.

## Характеристика почвенного покрова районов исследований

Почвы	Растительность	Глубина залегания кровли ММП, м	Группа почв	Площадь, км <sup>2</sup>	Площадь, %
1	2	3	4	5	6
I. Сплошное распространение ММП					
Глееземы и торфяно-глееземы мерзлотные	Кустарничково-моховые тундры	≤1	ММ	10	37,8
Глееземы мерзлотные	Кустарничково-моховые тундры	1–2	СМ	9	31,7
Темногумусовые глеевые	Луговые урочища	2–3	ГМ	1	3,2
Глееземы и торфяно-глееземы	Ивняковые тундры	2–3	ГМ	5	19,3
Слабодифференцированные	Мохово-лишайниковые тундры	–	НМ	2	8
II. Преимущественно сплошное распространение ММП					
Торфяные олиготрофные мерзлотные бугров и торфяные олиготрофные мочажин (плоскобугристый комплекс)	Плоскобугристые болота	≤1	ММ	0,1	0,2
Торфяно-глееземы перегнойно-торфяные мерзлотные	Ерниковые тундры	≤1	ММ	2	6
Аллювиальные перегнойно-глеевые и перегнойно-глеевые, в т. ч. мерзлотные	Травянистые сообщества	1–2	СМ	0,3	0,8
Аллювиальные торфяно-глеевые мерзлотные	Ивняковые сообщества	≤1	ММ	0,1	0,3
Торфяно-глееземы	Ерниковые тундры	2–3	ГМ	0,8	2,3
Торфяно-глееземы карбонатные	Ивняковые тундры	–	НМ	12,4	36,4
Торфяно-глееземы	Редкоивняковые тундры	1–2	СМ	5,1	14,9
Торфяно-глееземы и сухоторфяно-глееземы карбонатные	Ивняково-ерниковые тундры	1–2	СМ	4,4	12,8
Серогумусовые глеевые карбонатные и торфяно-глееземы	Пятнисто-триадовые тундры	1–2	СМ	8,3	24,3
Карбопетроземы, в т. ч. гумусовые	Пятнисто-ерниковые тундры	1–2	СМ	0,5	1,5
Каменистые россыпи	Каменистые россыпи	–	НМ	0,05	0,1
Антропогенно-нарушенные	Антропогенно-нарушенные геосистемы	–	НМ	0,1	0,3
III. Прерывистое распространение ММП					
Аллювиальные перегнойно-глеевые	Ерниково-травянистые тундры	–	НМ	1,2	2,1
Аллювиальные торфяно-глеевые	Ивняковые тундры	–	НМ	3,4	5,7
Торфяно-глееземы мерзлотные	Ерниковые тундры	1–2	СМ	19,2	32,4
Торфяно-глееземы	Ивняковые тундры	–	НМ	8	13,5
Глееземы	Ивняково-ерниковые тундры	–	НМ	14,4	24,3
Глееземы, абрауземы глеевые	Пятнисто-ерниковые тундры	1–2	СМ	11,1	18,8
Торфяно-глееземы мерзлотные бугров и торфяные олиготрофные мочажин (плоскобугристый комплекс)	Плоскобугристые болота	≤1	ММ	0,7	1,1
Торфяно-глееземы перегнойно-торфяные	Ивняковые тундры	–	НМ	1,3	2,1
IV. Массивно-островное распространение ММП					
Подзолы иллювиально-гумусово-железистые	Березовые редколесья кустарничково-ерниково-мохово-лишайниковые	–	НМ	8,7	9,1
Торфяно-светлоземы иллювиально-гумусово-железистые	Еловые редколесья кустарничково-моховые	–	НМ	6,5	6,8
Глееземы и торфяно-глееземы перегнойно-глеевые	Ивняки кустарниковые разнотравно-моховые	–	НМ	6,2	6,5
Глееземы, абрауземы глеевые, серогумусовые глеевые	Ерники кустарничково-разнотравно-моховые (пятнисто-буторковатый комплекс)	2–3	ГМ	32,3	33,9

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
Подбуры и сухоторфяно-подбуры иллювиально-гумусовые оподзоленные	Кустарничково-лишайниковые тундры (мелкобугорковатый комплекс)	—	НМ	28,7	30,1
Торфяные олиготрофные мерзлотные бугров и торфяные олиготрофные мочажин (плоскобугристый комплекс)	Плоскобугристые болота	≤1	ММ	9,0	9,4
Мелкоконтурные сочетания аллювиальных гумусовых глеевых, торфяно-глеевых и слоистых	Пойменные ивняки и луга	—	НМ	0,8	0,9
Антропогенно-нарушенные	Антропогенно-нарушенные геосистемы	—	НМ	3,1	3,3
V. Островное распространение ММП					
Торфяно-глееземы, в т. ч. мерзлотные	Подножья склонов, долины ручьев, плоских нагорных террасы	≤1	ММ	2	0,6
Подзолы иллювиально-гумусово-железистые, в т. ч. литобарьерные	Сосняки лишайниковые	—	НМ	3	1,0
Торфяные олиготрофные, в т. ч. мерзлотные	Крупнобугристые болота	≤1	ММ	7	1,9
Подбуры иллювиально-гумусовые литобарьерные	Мохово-лишайниковые тундры	2—3	ГМ	10	2,8
Светлоземы и торфяно-светлоземы иллювиально-гумусово-железистые литобарьерные	Лиственничники	—	НМ	16	4,6
Подбуры пропитанно-гумусовые, в т. ч. литобарьерные	Горные кустарничково-моховые тундры	—	НМ	31	9,0
Глееземы, в т. ч. литобарьерные	Кустарниково-моховые тундры	—	НМ	67	19,5
Светлоземы и торфяно-светлоземы иллювиально-гумусово-железистые, в т. ч. литобарьерные	Еловые леса	—	НМ	101	29,2
Мелкоконтурные сочетания аллювиальных серогумусовых глеевых почв и аллювиальных торфяно-глееземов	Морозобойные долины рек и ручьев	—	НМ	108	31,4

Приимечание. Группа почв: ММ — мелкомерзлотные, СМ — среднеглубинные мерзлотные, ГМ — глубокомерзлотные, НМ — немерзлотные (сезоннопромерзающие). Прочерк — отсутствует.

Наибольшую площадь (54 %) в районе исследований II занимают мерзлотные почвы с глубиной залегания кровли ММП от 1 до 2 м.

В районе III относительная площадь торфяно-глееземов мерзлотных становится ниже (32 %) при снижении общей доли мерзлотных почв (52 %) (см. таблицу). Автоморфные мерзлотные почвы занимают 19 % территории. Значительные пространства покрыты сезоннопромерзающими, как автоморфными (24 %), так и полугидроморфными (14 %) почвами. Криогидроморфные профили локализованы в ареалах плоскобугристых болот, занимающих <1 % от общей площади района исследований. Мерзлотные почвы территории в основном характеризуются глубиной залегания кровли ММП от 1 до 2 м.

В районе IV мерзлотные почвы занимают ~43 % территории, среди них основной пул (34 %) составляют автоморфные глеевые почвы ерниковых тундр (см. таблицу). Доля криогидроморфных почв плоскобугристых болот в районе исследований составила ~9 %. Среди мерзлотных профилей в р-не IV преобладают почвы с заглубленной (2—3 м) кровлей ММП.

В районе V общая доля мерзлотных почв составила ~5 %, на долю торфяных мерзлотных почв приходится ~3 % (см. таблицу).

В условиях значительной пространственной дифференциации мерзлотных условий формирования почв критерий наличия многолетнемерзлых горизонтов в их профиле, принятый в «Таксономии почв» [31], недостаточен. Необходимо выделять различные глубины подстилания кровли ММП, включая ее заглубленное (1—2 м и более) положение. Проблемы современного классификационного положения мерзлотных почв в различных таксономических системах рассмотрены С.В. Горячкиным с соавтора-

ми [32]. Авторы предложили расширить понимание подтипа «мерзлотный», приравняв его к международным стандартам и введя следующие виды подтипа «мерзлотный»: мелко-, средне- и глубокомерзлотные для почв с проявлением криогенных процессов и сливающейся мерзлотой на глубине 1, 2 и глубже 2 м соответственно. По классификационным критериям [32], дифференцирующими почвы с учетом глубины залегания многолетнемерзлой кровли, в почвенном покрове общая доля мерзлотных профилей снижается с 92 % в районе I (сплошное распространение ММП) до 5 % в районе V (островное распространение ММП).

Максимальная доля (~38 %) мелкомерзлотных (ММ) почв отмечена в районе I, где относительно низкотемпературные ММП занимают до 99 % территории [11]. Мелкомерзлотные профили здесь представлены преимущественно минеральными глеевыми почвами. В полугидроморфных позициях рельефа мелкомерзлотные профили развиваются при распространении ММП  $\geq 90\%$  (р-ны I–III). В криогидроморфных условиях мелкомерзлотные почвы формируются практически по всему региону исследований (р-ны II–V) (см. таблицу, рис. 2). Плоско- и крупнобугристые болота на цокольной равнине, граничащей с горной страной Урала, распространены в меньшей степени по сравнению с аккумулятивными ландшафтами Печорской низменности [7]. Территория предгорных равнин характеризуется значительной дренированностью [33], что снижает распространение болотных геосистем.

Среднеглубинные мерзлотные почвы (СМ) получили широкое распространение в районах I–III (ММП  $\geq 90\%$ ) на минеральных (глинисто-суглинистых, супесчаных) почвообразующих породах. В р-нах II, III они доминируют среди всех групп почв (см. таблицу, рис. 2). Преобладание глубокомерзлотных профилей (ГМ) в районе IV объясняется широким распространением в южной части криолитозоны автономных тундровых ландшафтов, где создаются неблагоприятные условия для близкого к поверхности залегания кровли ММП. При этом полугидроморфные позиции рельефа часто приурочены к таликовым зонам, где произрастают крупноивняковые и лесные сообщества. Г.Г. Осадчая [34] отмечает широкое распространение почвогрунтов с заглубленной кровлей ММП при несплошном их распространении.

Анализируемые классификационные принципы подразумевают выделение группы немерзлотных (НМ), т. е. сезоннотемпературных, почв — профилей, формирующихся в условиях отсутствия либо глубокого залегания кровли ММП. Доля немерзлотных почв постепенно увеличивается от 8 % в сплошной криолитозоне (р-н I) до 95 % в островной (р-н V) (см. таблицу, рис. 2). Необходимо отметить, что во всех районах исследований общая площадь немерзлотных почв выше таковой, занятой сезоннотемпературными почвогрунтами [11]. Это объясняется значительным распространением ММП с заглубленной кровлей, включающей несплошные талики. Соответственно, в анализе пространственной неоднородности почвенного покрова нужно учитывать доли площадей сезоннотемпературных (немерзлотных) почв как с заглубленной кровлей ММП (НМ<sub>М</sub>), так и с их полным отсутствием (НМ<sub>Т</sub>) (см. рис. 2). Соотношения площадей этих двух групп почв объясняются как ландшафтными, так и геокриологическими, а соответственно, и биоклиматическими характеристиками территории. К югу постепенно сокращается общая площадь ММП наряду с опусканием их кровли, обусловливая увеличение

доли несливающихся ММП [21]. В сплошной криолитозоне среди немерзлотных почв доминируют профили с глубоким (>3 м) залеганием льдистой кровли НМ<sub>М</sub>, тогда как в южной криолитозоне преобладают (более 50 %) сезоннотемпературные почвы НМ<sub>Т</sub> на талых породах.

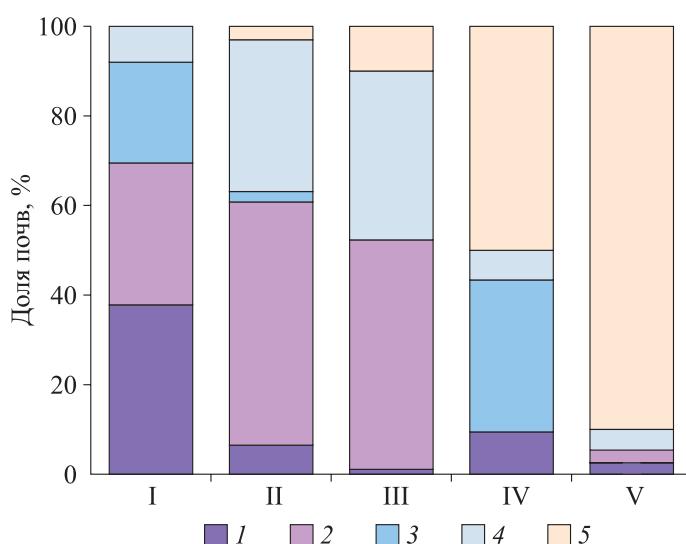


Рис. 2. Доли почв с разной глубиной подстилания многолетнемерзлых пород в почвенном покрове районов исследований, %.

Почвы: 1 — мелкомерзлотные; 2 — среднеглубинные мерзлотные; 3 — глубокомерзлотные; 4 — немерзлотные с глубокозалегающими (>3 м) ММП; 5 — немерзлотные на талых породах. Районы исследований обозначены римскими цифрами, голубыми оттенками показана группа мерзлотных почв с заглубленной (>2 м) кровлей ММП.

Необходимо обозначить и проблему выделения глубокомерзлотных почв. Как правило, ручное зондирование кровли ММП глубже 2 м не представляется возможным. Обнаружение кровли ММП в пределах 2–3 м возможно при бурении [35], геофизических исследованиях [36], выполнении глубоких (>2 м) почвенных разрезов. Однако если таких технических возможностей нет, целесообразно объединять глубокомерзлотные профили с таковыми на глубокозалегающих (>3 м) ММП. Залегание кровли ММП глубже 2 м, как правило, не учитывается в почвенных классификациях [18, 37] и практически не влияет на процессы почвообразования [38]. При этом расчет общей доли почв с заглубленной (>2 м) кровлей ММП ( $HM_{3M}$ ) производили по формуле

$$HM_{3M} = MM_{MP} - (MM + CM), \quad (1)$$

где  $MM_{MP}$  — площадь многолетнемерзлых пород, %;  $MM$  — площадь мелкомерзлотных почв, %;  $CM$  — площадь среднеглубинных мерзлотных почв, %.

В условиях, когда имеются значения площадей ареалов глубокомерзлотных почв, долю почв с заглубленной кровлей ММП рассчитывали как

$$HM_{3M} = GM + HM_M, \quad (2)$$

где  $HM_{3M}$  — доля сезоннотрещиноватых (нemerзлотных) почв с заглубленной (>2 м) кровлей ММП;  $GM$  — площадь глубокомерзлотных почв, %;  $HM_M$  — площадь сезоннотрещиноватых (нemerзлотных) почв с глубоким (>3 м) залеганием ММП, %.

К югу постепенно снижаются доли почв как с близким (<2 м), так и заглубленным (>2 м) залеганием кровли ММП (см. рис. 2, 3). Площадь мерзлотных почв с близким залеганием ММП существенно сокращается (с 51 до 9 %) на границе подзон прерывистого и массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород, на границе между южной тундрой и северной лесотундрой (см. рис. 3). Близкозалегающие ММП в условиях их массивно-островного распространения характерны преимущественно для бугристых болот. Соответственно, смена геокриологических условий сопровождается значительными изменениями пространственной дифференциации как почвенного, так и растительного покрова.

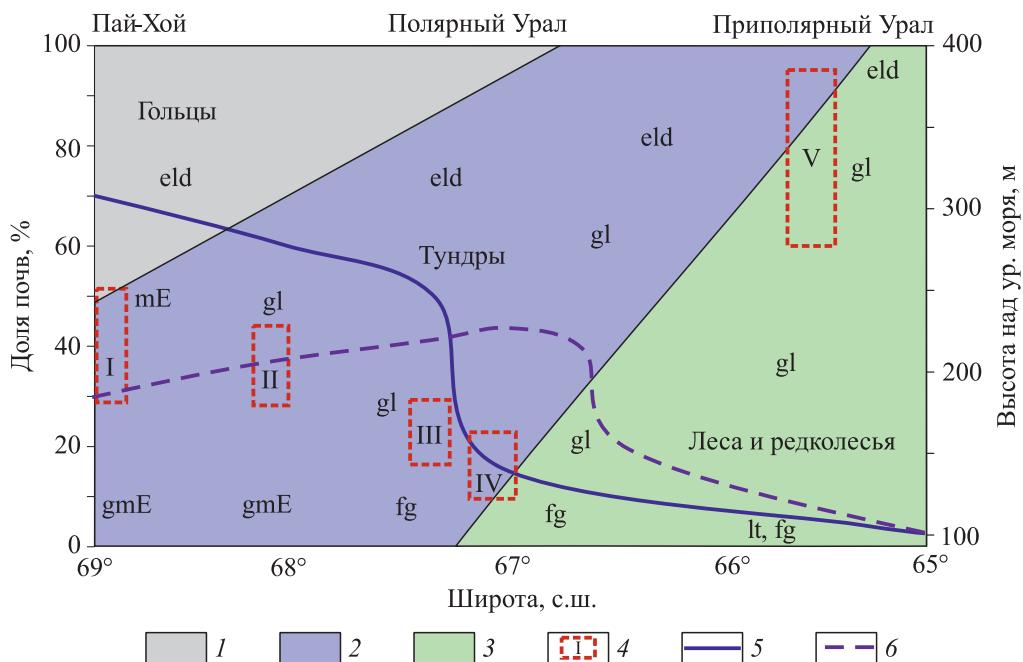


Рис. 3. Физико-географическая схема условий почвообразования на предгорных равнинах Субарктики Европейского Северо-Востока России.

Пояса: 1 — гольцы; 2 — тундры; 3 — лесов и редколесий; 4 — контуры расположения и номера районов исследований. Доля почв, %: 5 — мерзлотных с глубиной залегания кровли ММП до 2 м; 6 — сезоннотрещиноватых с заглубленной (>2 м) кровлей ММП. Четвертичные отложения: eld — элювиально-делювиальные; mE — морские; gmE — ледниково-морские; gl — ледниковые (моренные); fg — флювиогляциальные; lt — озерно-болотные.

Тем не менее в массивно-островной криолитозоне сезоннопромерзающие почвы с заглубленной кровлей ММП ( $\text{HM}_{3M}$ ) еще достаточно широко распространены (~40 %), встречаясь как на суглинистых, так и торфяных массивах. В подзоне островного распространения ММП, где доля почв с близким залеганием многолетнемерзлой кровли низкая (~3 %), площадь  $\text{HM}_{3M}$  профилей также резко снижается до 3 %. Это связано с доминированием в крайнесеверной тайге лесной растительности, произрастающей в регионе преимущественно на талых почвообразующих породах. Многолетнемерзлые массивы здесь сохранились только в условиях безлесных бугристых болот.

Таким образом, пространственная дифференциация почвенного покрова предгорных равнин региональной криолитозоны определяется сочетанием биоклиматических, геокриологических и литологических условий. В северных районах при менее развитом растительном покрове температура почвогрунтов в большей степени зависит от климата, тогда как в южной — преимущественно от почвенно-растительного покрова [39]. Наибольшие широтные изменения в почвенном покрове наблюдаются в несплошной криолитозоне при переходе от тундровых к лесным геосистемам, от прерывистого к островному распространению ММП. В широтном аспекте доля почв с близким залеганием ММП значительно снижается в подзоне массивно-островного распространения ММП (северная лесотундра), тогда как сокращение доли почв с заглубленной многолетнемерзлой кровлей «запаздывает», что наблюдается при переходе к подзоне островного распространения ММП (крайнесеверная тайга).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геоинформационный анализ почвенного покрова с применением классификационных критерий, учитывающих различную глубину залегания кровли многолетнемерзлых пород, позволяет анализировать географические закономерности распространения мерзлотных почв с учетом геокриологической и биоклиматической зональности региона. При исследовании почвенного покрова предгорных цокольных равнин криолитозоны Субарктики Крайнего Севера-Востока Европейской России целесообразно применять классификационные критерии, выделяющие мелкомерзлотные (<1 м) и среднеглубинные (1–2 м) мерзлотные почвы. Ареалы глубокомерзлотных почв (2–3 м) в полевых условиях выделяются при наличии технических возможностей исследований.

Мелкомерзлотные почвы широко распространены в северной части полосы субарктических предгорных равнин, они развиты на различных типах почвообразующих пород. В несплошной криолитозоне их формирование определяется преимущественно присутствием гидроморфных ландшафтов. Среднеглубинные мерзлотные почвы широко развиты в северной части региональной криолитозоны ( $\text{MMП} \geq 90\%$ ) на минеральных почвообразующих породах. Глубокомерзлотные почвы распространены в массивно-островной криолитозоне лесотундры на безлесных дренированных участках.

Географический анализ пространственной дифференциации почвенного покрова предгорных равнин на региональном уровне показал, что целесообразно выделять три группы профилей: мерзлотные почвы с близким (<2 м) залеганием кровли ММП; сезоннопромерзающие почвы с заглубленным залеганием кровли ММП (>2 м); сезоннопромерзающие почвы на талых почвообразующих породах (ММП отсутствуют).

Широтная смена геокриологических (от прерывистого к островному распространению ММП) и биоклиматических (от тундровых к лесным геосистемам) условий сопровождается значительными пространственными изменениями почвенного покрова. В северной лесотундре наблюдается резкое (с 51 до 9 %) снижение доли мерзлотных почв с близким залеганием (<2 м) кровли ММП. При переходе от лесотундры к крайнесеверной тайге значительно (с 40 до 3 %) снижается доля почв с заглубленной кровлей ММП (>2 м). Литология четвертичных (почвообразующих) пород определяет пространственную дифференциацию мерзлотных почв по всей площади региона, в особенности на севере. По мере продвижения к югу региона все большее влияние на распространение мерзлотных почв начинает оказывать растительность.

В дальнейших исследованиях необходимо будет установить закономерности пространственно-временной дифференциации мерзлотных почв, функционирующих в условиях современных климатических изменений и антропогенных воздействий в субарктических геосистемах Европейского Севера-Востока России с применением существующих классификационных систем: отечественной В.Н. Димо (1972) [40] и американской «Таксономии почв» [31], учитывающих температурные показатели почв на глубинах 20 и 50 см соответственно. Анализ температурных характеристик верхней (20 см) и средней части профиля (50 см) позволяет оценить влияние на них как поверхностных, так и внутрипочвенных условий.

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ 24-27-00056 «Уязвимость многолетнемерзлых торфяников в результате строительства линейных объектов в условиях современного климатического потепления в Арктике: оценка экономических и необратимых природных рисков».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bockheim J.** Cryopedology. — New York: Springer, 2015. — 177 p.
2. **Romanovsky V., Isaksen K., Drozdov D., Anisimov O., Instanes A., Leibman M., McGuire A.D., Shiklomanov N., Smith S., Walker D.** Changing permafrost and its impacts // Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). — 2017. — N 4. — P. 65–102.
3. **Константинов П.Я., Аргунов Р.Н., Герасимов Е.Ю., Угаров И.С.** О связи глубины сезонного протаивания с межгодовой изменчивостью средней годовой температуры грунтов // Криосфера Земли. — 2006. — Т. X, № 3. — С. 15–22.
4. **Забоева И.В.** Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. — Сыктывкар: Кomi кн. изд-во, 1975. — 344 с.
5. **Hinzman L.D., Kane D.L., Gieck R.E., Everett K.R.** Hydrologic and thermal properties of the active layer in the Alaskan Arctic // Cold Regions Science and Technology. — 1991. — Vol. 19, N 2. — P. 95–110.
6. **Полевой** определитель почв России / Ред. К.Т. Остrikова. — М.: Изд-во Почвен. ин-та, 2008. — 282 с.
7. **Карта** четвертичных отложений Европейской части СССР и прилегающих территорий, масштаб: 1:1 500 000 / Под ред. Г.С. Ганешина. — М.: Изд-во Мин. геологии СССР, ФГБУ ВСЕГЕИ, 1959. — Л. 4.
8. **Государственный** доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2019 году» / Гл. ред. Р.В. Полищук. — Сыктывкар: Мин. природ. ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «Территориальный фонд информации Республики Коми», 2020. — 162 с.
9. **Государственная** почвенная карта России. М-б 1:1 000 000 / Отв. ред. Л.Л. Шишов. — М.: ФСГКР, 2000. — Л. Q-41.
10. **Жангуров Е.В., Старцев В.В., Дубровский Ю.А., Дёгтева С.В., Дымов А.А.** Морфолого-генетические особенности почв горных лиственничных лесов и редколесий Приполярного Урала // Почвоведение. — 2019. — № 12. — С. 1415–1429. — DOI: 10.1134/S0032180X19120141
11. **Геокриологическая** карта СССР. М-б 1:2 500 000 / Отв. ред. Е.Д. Ершова, К.А. Кондратьева. — М.: Изд-во Мин. геологии СССР и Моск. ун-та, 1998. — 16 л.
12. **Оберман Н.Г., Шеслер И.Г.** Современные и прогнозируемые изменения мерзлотных условий европейского Северо-Востока Российской Федерации // Проблемы Севера и Арктики Российской Федерации: Науч.-информ. бюл. — 2009. — Вып. 9. — С. 96–106.
13. **Осадчая Г.Г.** Мерзлотные ландшафты большеземельской тундры как основа рационального природопользования: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. — Ухта: Типография ФГБОУ ВО Ухтинского технич. ун-та, 2018. — 36 с.
14. **Малкова Г.В.** Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванский // Криосфера Земли. — 2010. — Т. XIV, № 3. — С. 22–35.
15. **Vasiliev A.A., Drozdov D.S., Gravis A.G., Malkova G.V., Nyland K.E., Streletsiky D.A.** Permafrost degradation in the Western Russian Arctic // Environmental Research Letters. — 2020. — Vol. 15. — P. 045001. — DOI: 10.1088/1748-9326/ab6f12/
16. **Kaverin D., Malkova G., Zamolodchikov D., Shiklomanov N., Pastukhov A., Novakovskiy A., Sadurtdinov M., Skvortsov A., Tsarev A., Pochikalov A., Malitsky S., Kraev G.** Long-term active layer monitoring at CALM sites in the Russian European North // Polar Geography. — 2021. — Vol. 44. — DOI: 10.1080/1088937X.2021.1981476
17. **Lagacherie P., McBratney A.B.** Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping // Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. Developments in Soil Science. — Amsterdam: Elsevier, 2006. — P. 3–24.
18. **Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И.** Классификация и диагностика почв России. — Смоленск: Ойкумена, 2004. — 342 с.
19. **Герасимова М.И.** Классификация почв России: путь к следующей версии // Почвоведение. — 2019. — № 1. — С. 32–42.
20. **Карта** плиоцен-четвертичных образований // Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000. — СПб.: Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2000. — Л. R40(42).
21. **Осадчая Г.Г., Тумель Н.В.** Локальные ландшафты как индикаторы геокриологической зональности (на примере европейского Северо-Востока) // Криосфера Земли. — 2012. — Т. XVI, № 3. — С. 62–71.
22. **Матвеева Н.В.** Зональность в растительном покрове Арктики // Труды Ботанического Института им. В.Л. Комарова. — 1998. — Вып. 21. — 220 с.
23. **Атлас** Архангельской области / Ред. Д.Ф. Федоров. — М.: Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 1976. — 72 с.
24. **Каверин Д.А., Кулюгина Е.Е., Шахтарова О.В., Щанов В.М.** Влияние растительного покрова на глубину сезонного протаивания в тундровых почвах предгорных ландшафтов кряжа Пай-Хой (юго-запад Югорского полуострова) // Криосфера земли. — 2016. — Т. XX, № 4. — С. 69–78.
25. **Андреичева Л.Н.** Плейстоцен европейского Северо-Востока. — Екатеринбург: УрО РАН, 2002. — 322 с.

26. **Атлас почв Республики Коми** / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. — Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2010. — 356 с.
27. **Карта четвертичных отложений. М-б 1:200 000** / Ред. Ю.Д. Смирнов. — М.: Всесоюз. аэрогеологический трест, Мин. геологии СССР, 1971. — Л. Q-41-XX.
28. **ERDAS Field Guide 2005 / Norcross**. — Georgia: Leica Geosystems Geospatial Imaging, 2006. — 653 р.
29. **Пастухов А.В., Каверин Д.А., Щанов В.М.** Построение региональных цифровых тематических карт (на примере карты запасов углерода в почвах бассейна р. Уса) // Почвоведение. — 2016. — № 9. — С. 1042–1051. — DOI: 10.7868/S0032180X16090100
30. **Данилов И.Д.** Рельеф и четвертичные отложения юго-западного склона Пай-Хоя // Вестн. Московского университета. Сер. V. География. — 1962. — № 6. — С. 56–62.
31. **Keys to Soil Taxonomy. 13th Edition.** — Washington DC: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2022. — 410 р.
32. **Goryachkin S., Badmaev N., Desyatkin R.** Problems of Permafrost-Affected Soils Classification and Their Places in Different Taxonomic Systems // Abstracts of International Conference «Solving the puzzles from Cryosphere» (April 15–18, Pushchino, Russia). — Pushchino: «OneBook.ru», ООО «Сам Полиграфист», 2019. — Р. 178–179.
33. **Атлас Республики Коми / Отв. ред. Е.В. Корниенко.** — М.: Феория, 2011. — 448 с.
34. **Осадчая Г.Г.** Стабилизирующие реакции мерзлотных ландшафтов на изменение климатических условий // Криосфера Земли. — 2003. — Т. 7, № 4. — С. 21–27.
35. **Ривкин Ф.М., Власова Ю.В., Пармузин И.С.** Закономерности изменения геокриологических условий в результате осадки мерзлых пород при оттаивании // Криосфера Земли. — 2017. — Т. XXI, № 6. — С. 26–34.
36. **Каверин Д.А., Хилько А.В., Пастухов А.В.** Высокочастотное георадиолокационное зондирование почвогрунтов многолетнемерзлых бугристых болот (европейский Северо-Восток России) // Криосфера Земли. — 2018. — Т. XXII, № 4. — С. 86–95. — DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-4(86-95)
37. **IUSS Working Group WRB.** 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition). — Vienna: International Union of Soil Sciences (IUSS, 2022. — 236 с.
38. **Мажитова Г.Г.** Температурные режимы почв в зоне несплошной многолетней мерзлоты европейского Северо-Востока России // Почвоведение. — 2008. — № 1. — С. 54–67.
39. **Шиполянская Н.А., Осадчая Г.Г., Малкова Г.В.** Современное изменение климата и реакция криолитозоны (на примере Западной Сибири и европейского севера России) // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер. Географическая среда и живые системы. — 2022. — № 1 — С. 6–30. — DOI: 10.18384/2712-7621-2022-1-6-30
40. **Димо В.Н.** Тепловой режим почв СССР. — М.: Колос, 1972. — 360 с.

Поступила в редакцию 22.01.2024

После доработки 11.04.2024

Принята к публикации 11.07.2024