

УДК 631.445

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.270>

## Морфогенетические особенности структуры почвенного покрова Притазовского заполярья (Западная Сибирь)

© 2024 Б. А. Смоленцев , И. Д. Махатков 

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [smolentsev.b@issa-siberia.ru](mailto:smolentsev.b@issa-siberia.ru), [makhatkov@issa-siberia.ru](mailto:makhatkov@issa-siberia.ru)

**Цель исследования.** Дать морфогенетическую характеристику структуры почвенного покрова (СПП) Притазовского заполярья.

**Место и время проведения.** Почвенно-географические и почвенно-генетические исследования проводили в период с 2009 по 2011 годы в подзоне южной тундры Западной Сибири в левобережной части бассейна р. Таз, в нижнем ее течении. Камеральные работы, в т.ч. аналитические исследования проводили в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН в период с 2010 по 2016 годы.

**Методы.** На двух ключевых участках, различающихся ландшафтами, проведено крупномасштабное, а местами детальное почвенное обследование. Созданные почвенные карты были оцифрованы в пакете QGIS. Математическая обработка полученных цифровых данных по площадям и периметрам ареалов почв и почвенных комбинаций (ПК) проведена с использованием MsExcel. При классификации почвенных комбинаций за основу взята таксономическая система В.М. Фридланда; также использованы предложенные им же количественные показатели для морфогенетического анализа СПП.

**Основные результаты.** Основу почвенного покрова (ПП) Притазовского заполярья составляют глееземы и криоземы, занимающие 90,9% площади. Большинство ареалов этих почв слабо варьируют по площади и внешнему периметру и имеют несложное геометрическое строение. По площади наиболее крупных контуров все элементарные почвенные ареалы (ЭПА) и почвенные комбинации относятся к мелко- и среднеареальным (<30 га). Более 90% контуров имеют очень мелкие размеры (<5 га). Наименьшими размерами ЭПА характеризуются торфяно-криоземы полигонально-валиковых болот. Большинство почвенных контуров (83%) исследуемой территории имеют округлую или вытянутую форму со слабоизвилистыми границами и небольшой длиной внешнего периметра, что обуславливает их монолитное и слаборасчлененное строение (коэффициент расчленения <2,5). Главными дифференцирующими факторами почвенного покрова являются криогенез, глеевые процессы, детритогенез. В целом, почвенный покров Притазовского заполярья характеризуется как монотонно-гетерогенный для территорий с расчлененным рельефом и гомогенно-монотонный для территорий с плоским рельефом.

**Заключение.** Почвенный покров территорий Притазовского заполярья с расчлененным рельефом более классификационно контрастен и менее геометрически сложен по сравнению с ПП территорий с плоским рельефом, который имеет очень сложное геометрическое строение из-за большого количества в нем очень мелких ЭПА. Мелкоконтурность и большое количество ЭПА и ПК на единицу площади сильно отличает почвенный покров тундры от ПП остальных биоклиматических зон Западной Сибири.

**Ключевые слова:** Cryosols; Gleysols; структура почвенного покрова; Притазовское заполярье; Западная Сибирь.

**Цитирование:** Смоленцев Б.А., Махатков И.Д. Морфогенетические особенности структуры почвенного покрова Притазовского заполярья (Западная Сибирь) // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e270. DOI: 10.31251/pos.v7i4.270

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение природных комплексов северных территорий России и, в частности, регионов Западной Сибири, связано с определенными сложностями, обусловленными трудной доступностью и значительными финансовыми затратами, в том числе на исследование почвенного покрова. Поэтому почвенный покров заполярной территории Западной Сибири изучен фрагментарно и крайне слабо; все современные исследования по его изучению ограничены определением и описанием компонентного состава (Таргульян и др., 1972; Тонконогов, 1977; Заров и др., 2022; Ткачева и др., 2023), генетических особенностей составляющих его отдельных типов почв (Гербер и др., 2017; Smolentsev, Konarbaeva, 2013; Loiko et al., 2023) и особенностей их элементного состава (Московченко, Романенко, 2020). До настоящего времени опубликована единственная монография о почвах лесотундровой и тундровой зон Западной Сибири (Васильевская и др., 1986). Публикаций о количественной оценке неоднородности структуры почвенного покрова заполярных территорий Западной Сибири нет. Почва, как всякое трехмерное тело, имеет определенную форму, объем и

внутреннее содержание, по которому определяется ее классификационная принадлежность. Не имея количественных показателей геометрии почвенных контуров, степени их дифференциации или изменчивости, степени изрезанности и извилистости их границ, классификационной контрастности почвенного покрова в целом, невозможно получить полную и достоверную информацию о структуре почвенного покрова, его неоднородности, степени сходства или различия для разных биоклиматических зон (подзон) и геоморфологических районов Западной Сибири.

Цель работы – дать морфогенетическую характеристику структуры почвенного покрова Притазовского заполярья.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

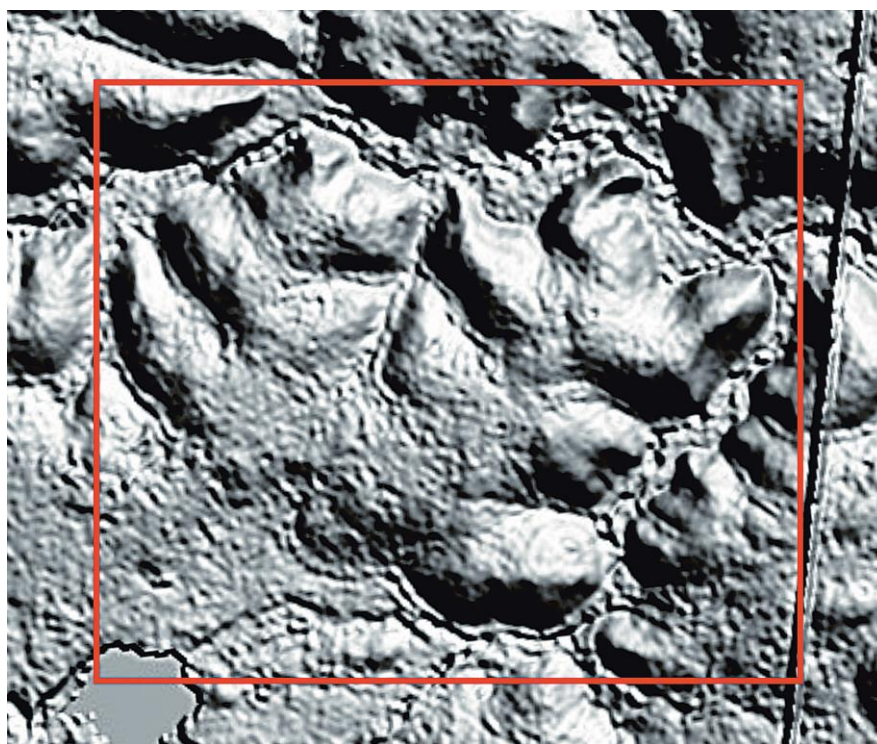
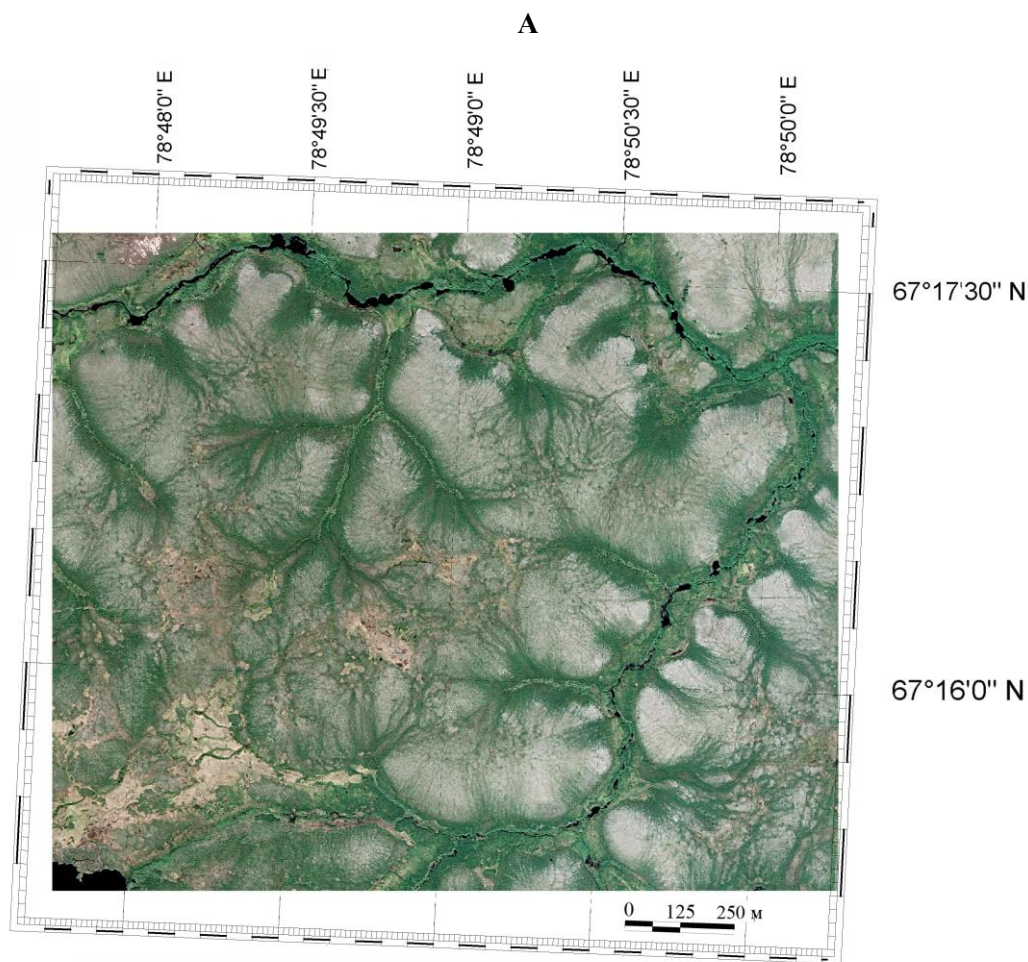
Исследования проводили в подзоне южной тундры Западной Сибири в левобережной части бассейна р. Таз, в нижнем ее течении. По геоморфологическому районированию Западной Сибири (Воскресенский, 1980) исследуемая территория расположена в области ледниковых и водно-ледниковых пониженных равнин. Абсолютные высоты колеблются в пределах 25–35 м над уровнем моря. Согласно новейшим схемам почвенно-географического районирования (Карта ..., 2013), территория исследований входит в состав Полярного географического пояса Евразийской полярной почвенно-биоклиматической области почвенной зоны тундровых глеевых почв и подбуров Субарктики Ямало-Гыданской провинции. Почвообразующие породы представлены флювиогляциальными отложениями легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава.

Рельеф исследованной территории представлен холмистыми повышениями и плоскими, в том числе, водораздельными участками в междуречье рек Вэсакояха и Лукыяха (Нуныяха), являющихся левыми притоками р. Таз. В период проведения полевых исследований глубина сезонного оттаивания многолетне-мерзлых пород в середине августа колебалась от 20 см до 2-х метров. Другими исследованиями установлено более глубокое оттаивание мерзлоты в этом регионе (Лойко и др., 2022; Слагода и др., 2022).

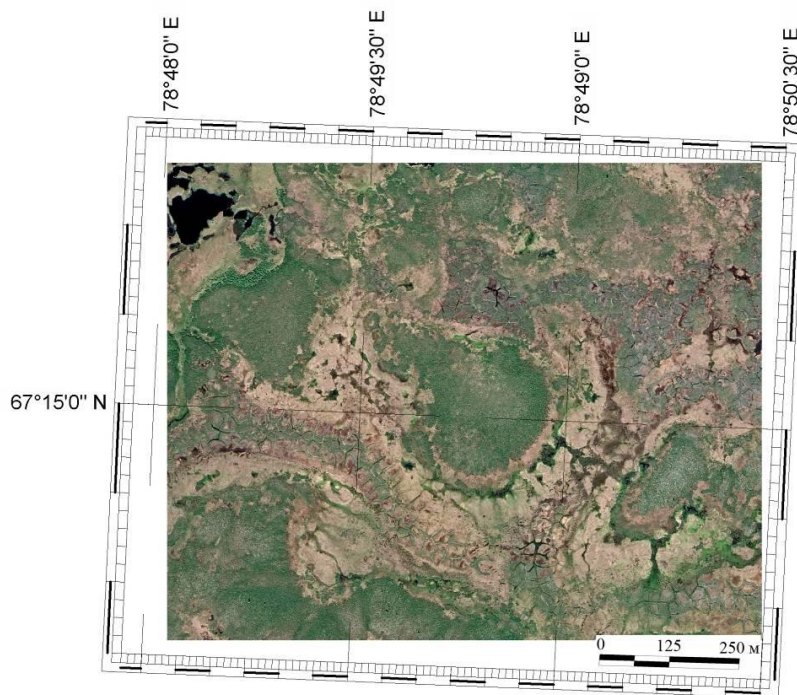
Было выбрано два ключевых участка, расположенных в различающихся ландшафтах. Первый ключевой участок (рис. 1А) имеет наиболее расчлененный холмистый рельеф (рис. 1Б) и характерную для южной тундры растительность. Второй участок расположен на плоском заболоченном водоразделе (рис. 2) с большим количеством полигонально-валиковых болот. На первом участке площадью 194 га проведено крупномасштабное почвенное обследование, а в местах с высокой мелкоконтурностью – детальное. На втором участке изучалась структура почвенного покрова полигонально-валиковых болот. Здесь было проведено детальное почвенное картографирование, т.к. размеры элементарных почвенных ареалов отдельных почв не превышали 50 м<sup>2</sup>. Общая площадь детального почвенного обследования составила 9,8 га.

Почвенное обследование проводилось согласно принятым методикам (Общесоюзная инструкция..., 1973; Методология составления..., 2006). Категория сложности территории для проведения почвенных обследований – V. Крупномасштабное почвенное картографирование выполнялось в масштабе 1:10000, детальное – в масштабе 1:2000. При почвенном обследовании первого ключевого участка было заложено 38 почвенных разрезов (основных и поверочных) и более 200 прикопок, необходимых для определения границ почвенных контуров. Большинство основных разрезов имели горизонтальную протяженность (ширину) более 1 м и на их передней стенке выделялось 2-3 типа (подтипа) почв. На втором ключевом участке закладывали, в основном, прикопки, так как близкое залегание мерзлоты не позволяло заложить основные полнопрофильные разрезы. Вскрываемый прикопками профиль почв оказывался достаточным для определения их классификационной принадлежности.

В результате проведенных полевых исследований установлено, что почвенный покров обоих ключевых участков характеризуется значительной мелкоконтурностью. Размеры ЭПА, имеющих профиль с полным набором типодиагностирующих горизонтов, колеблются от нескольких десятков сантиметров до двух-трех метров по наибольшей стороне. Соответственно, даже при детальном почвенном обследовании невозможно выделить однородные контуры ЭПА. На это же указывает В.Д. Васильевская с соавторами (1993), характеризуя структуру почвенного покрова полярных территорий: «Однородные (некомплексные) ареалы скорее представляют собой исключение в СПП». Поэтому в качестве элементарных единиц выделов на почвенной карте использовали двух-, трехкомпонентные почвенные комбинации.



*Рисунок 1.* Ключевой участок № 1: А – космический снимок, Б – рельеф.



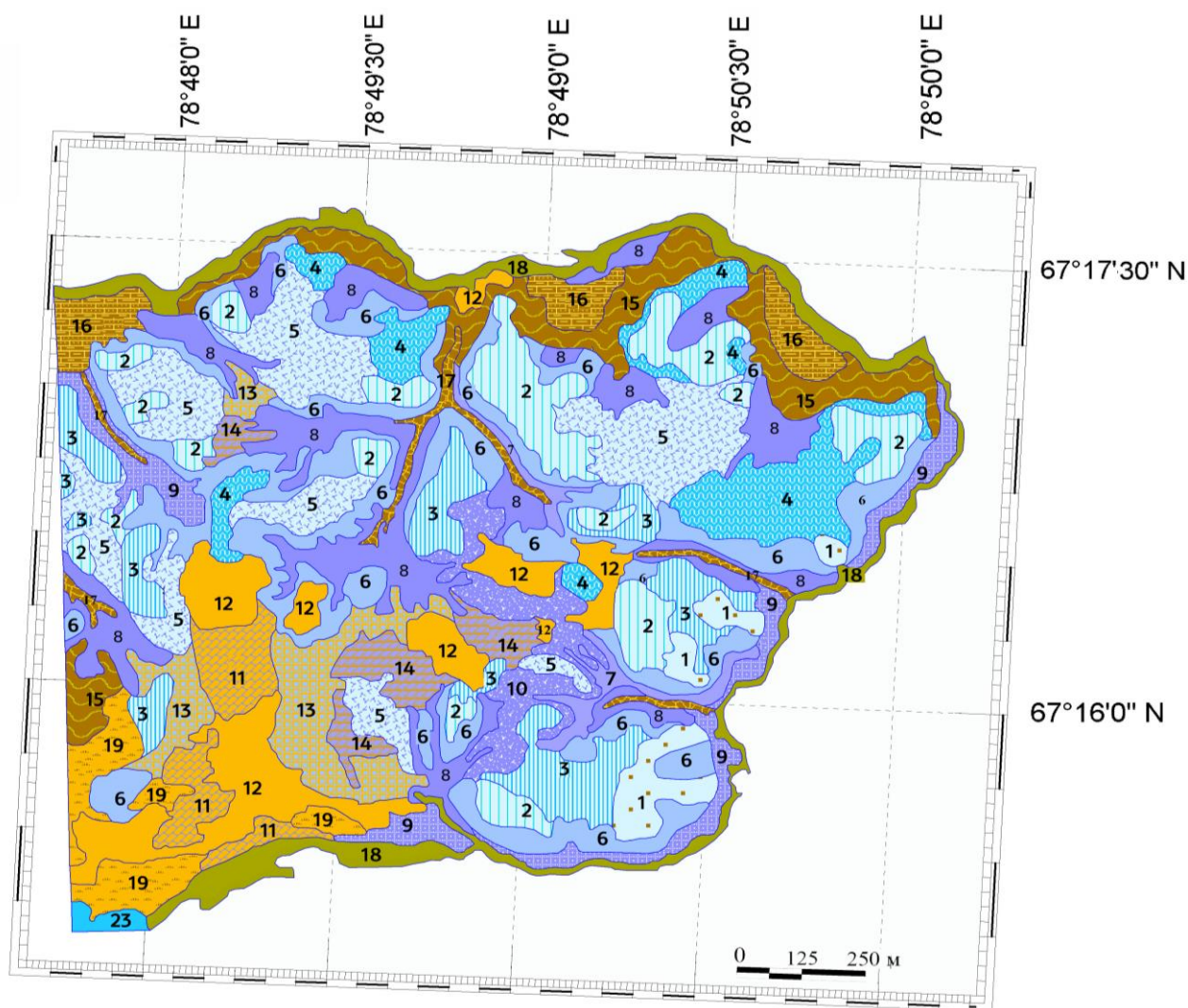
**Рисунок 2.** Космический снимок ключевого участка № 2.

Созданные почвенные карты (рис. 3 и 4) были оцифрованы в пакете QGIS. Математическая обработка полученных цифровых данных по площадям и периметрам ареалов почв и почвенных комбинаций проводилась с использованием MsExcel. При классификации почвенных комбинаций за основу взята таксономическая система В.М. Фридланда (1972; 1984); также использовали предложенные им же количественные показатели для морфогенетического анализа СПП.

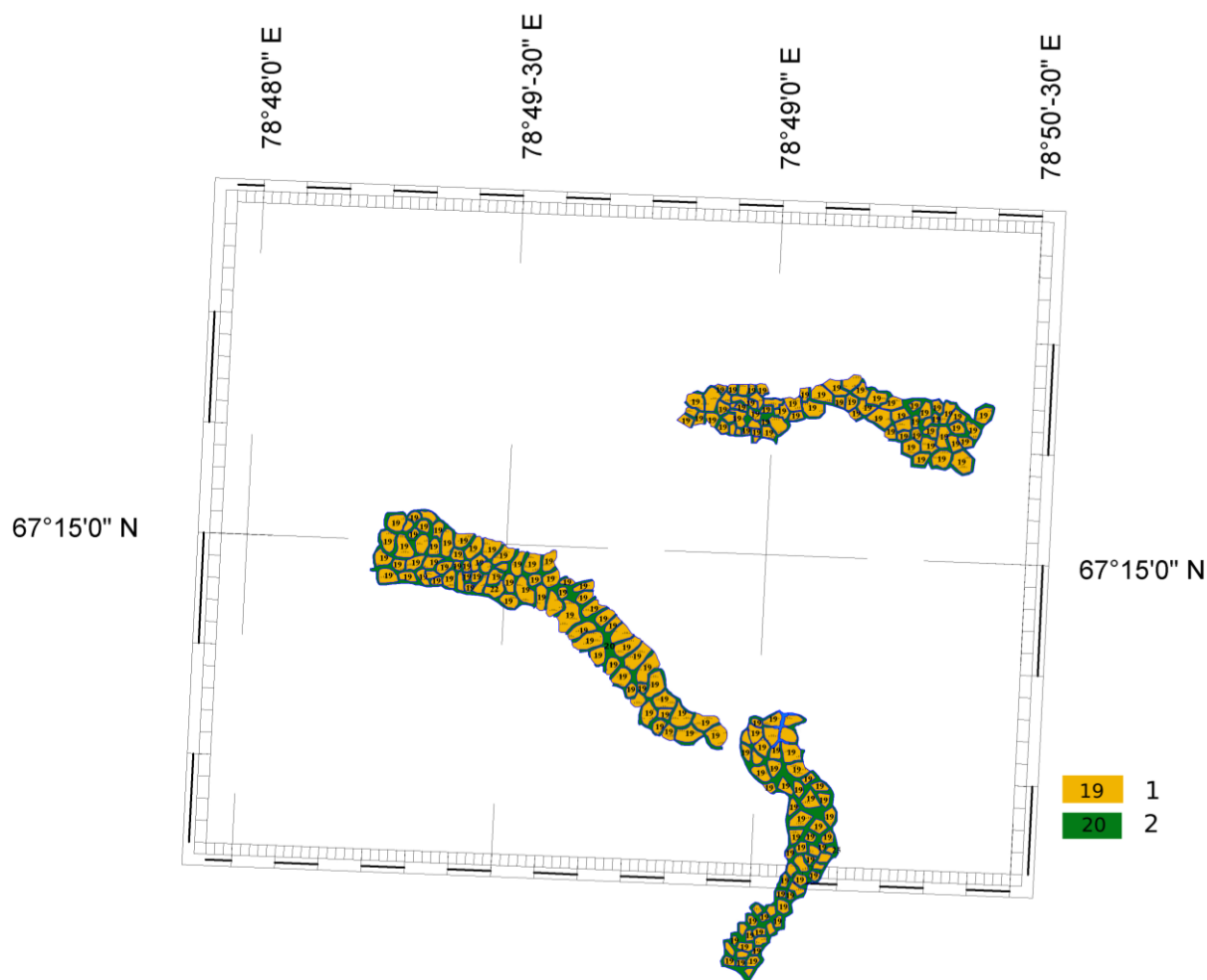
Морфометрическая или морфологическая характеристика СПП включает следующие показатели (Роома, 1972): 1) площадь – общая, средняя, минимальная, максимальная; 2) степень дифференциации величины почвенных контуров; 3) конфигурация (форма) контуров; 4) расчлененность контуров с выявлением коэффициента расчленения и распределения его частостей; 5) контурность – количество контуров почв на единицу площади (100 га); 6) экология образования и развития ЭПА и почвенных комбинаций.

При сравнении почвенных контуров по площади и величине коэффициента внешнего расчленения использовали ранее составленные градации (Смоленцев, 2002), а при характеристике сложности ПП – градация, предложенная Я.М. Годельманом (1991). Градации почвенного покрова по коэффициентам контрастности и неоднородности разработаны автором данной статьи (Б.А. Смоленцевым) на основе эмпирического метода научных исследований, путем измерения и сравнения полученных значений этих коэффициентов для почвенного покрова различных геоморфологических районов Западной Сибири. Названия категорий заимствованы у Я.М. Годельмана (1991) с добавлением двух промежуточных категорий по коэффициенту неоднородности почвенного покрова: монотонно-гомогенный и гетерогенно-монотонный.

Классификационная неоднородность или контрастность почвенного покрова определялась на основе генетических особенностей составляющих его почв, по формуле, предложенной Ю.К. Юдисом (1967). Степень различия свойств почв рассчитывалась с учетом степени выраженности в почвах криогенных признаков и признаков оглеения, оторфованности почв и характера органогенного горизонта. Контрастность глееземов криогенно-ожелезненных, как занимающих наибольшую площадь на исследуемой территории, принята за единицу. Степень контрастности между любыми двумя почвами рассчитывалась как суммарный балл их различий по четырем показателям. Названия почв даны в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» 2004 года и «Полевого определителя почв России» 2008 г. Космические снимки взяты из свободного доступа – Google Earth Pro. Снимок рельефа представлен из <https://livingatlas2.arcgis.com/arcticdemexplorer/>.



**Рисунок 3.** Почвенная карта ключевого участка № 1. Условные обозначения к почвенной карте: 1 – наноконплексы глееземов криогенно-ожелезненных с пятнами (медальонами) криогенных извержений; 2 – пятнистости глееземов криогенно-ожелезненных с глееземами грубогумусированными до 10%; 3 – пятнистости глееземов криогенно-ожелезненных с глееземами грубогумусированными криотурбированными до 25%; 4 – пятнистости глееземов грубогумусированных криогенно-ожелезненных с глееземами криометаморфическими грубогумусированными до 25%; 5 – пятнистости глееземов криогенно-ожелезненных с глееземами криометаморфическими до 25% и криоземами грубогумусовыми глееватыми до 10%; 6 – глееземы криометаморфические криотурбированные; 7 – вариации криоземов грубогумусовых типичных с криоземами грубогумусовыми глееватыми до 25%; 8 – криоземы грубогумусовые глееватые; 9 – вариации криоземов грубогумусовых глееватых с торфяно-криоземами глееватыми до 25%; 10 – вариации криоземов грубогумусовых глееватых с криоземами типичными до 25% и глееземами грубогумусовыми до 10%; 11 – вариации торфяно-криоземов с криоземами грубогумусовыми глееватыми до 45%; 12 – торфяно-криоземы; 13 – сочетание глееземов криометаморфических криотурбированных до 50% с криоземами грубогумусовыми глееватыми до 25% и торфяно-криоземами до 25%; 14 – пятнистости-вариации криоземов грубогумусовых глееватых до 50% с торфяно-криоземами глееватыми до 25% и торфяно-глееземами до 25%; 15 – мозаики торфяно-глееземов с аллювиальными торфяно-глеевыми; 16 – вариации торфяно-криоземов глееватых до 50% с торфяно-глееземами до 40% и криоземами грубогумусовыми глееватыми до 10%; 17 – мозаики торфяно-глееземов с аллювиальными торфянисто-глеевыми; 18 – аллювиальные торфяно-глеевые; 19 – комплексы торфяно-криоземов глееватых с торфяными олиготрофными мерзлотными почвами до 25%; 23 – озеро.



**Рисунок 4.** Фрагмент почвенной карты с ареалами полигонально-валиковых болот. Почвы: 1 – торфяно-криоземы, 2 – торфяные олиготрофные мерзлотные болотных валиков.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Компонентный состав почвенного покрова Притазовского заполярья (в пределах исследованной территории) представлен в таблице 1 и на рисунке 5.

Всего на обследованной территории выделено 4 отдела, 9 типов и 15 подтипов почв. Наиболее распространенными почвами являются глееземы и криоземы. На долю глееземов приходится 50,4% территории, на долю криоземов – 36,1%; аллювиальные почвы занимают 7,9% площади. В наименьшей степени распространены торфяные олиготрофные мерзлотные почвы, занимающие 1,3% площади территории (см. рис. 5). В.М. Фридланд (1984) при проведении почвенно-географического деления структур почвенного покрова континентов включил исследуемую территорию в состав страны с господством микроструктур – криогенных почвенных комплексов севера Евразии.

На территории Притазовского заполярья микроструктуры представлены комплексами и пятнистостями. Разные подтипы глееземов с пятнами (медальонами) криогенных извержений образуют регулярно-циклические пучинно-бугорковатые наноконтакты (см. рис. 3, рис. 6). Основным фактором дифференциации почв в этой комбинации служит криогенез, обуславливающий контрастное различие их морфологических профилей. Характер границ между компонентами комплексов резкий.

Почвенный покров полигонально-валиковых болот, часто встречающихся на плоских водоразделах, представлен регулярно-циклическими комплексами торфяно-криоземов на полигонах с торфяными олиготрофными мерзлотными почвами на валиках (см. рис. 4). Глееземы криогенно-железистые с криотурбированными и (или) грубогумусированными подтипами образуют пространственно неупорядоченные пятнистости. Различия почв в пятнистостях наблюдаются по степени разложения органического материала, проявлению криогенного ожелезнения и криотурбаций. Данные микроструктуры формируются на холмистых повышениях.

Таблица 1

Классификационная схема почв Притазовского заполярья (в пределах исследованной территории)

Ствол	Отдел	Тип	Подтип (номер почвы)	Формула профиля
Постлито- генные	Глеевые почвы	Глееземы	криогенно-ожелезненные (1)	O-G <sub>cf</sub> -G-CG
			грубогумусированные (2)	Oao-G-CG
			грубогумусированные криотурбированные (3)	Oao-G <sub>ctr</sub> -CG
			грубогумусированные криогенно- ожелезненные (4)	Oao-G <sub>cf</sub> -G-CG
		Глееземы криометамор- фические	криотурбированные (5)	O-G-CRM <sub>ctr</sub> -CG
			грубогумусированные (6)	Oao-G-CRM-CG
		Торфяно-глееземы	криотурбированные (7)	T-G-G <sub>ctr</sub> -CG
	Криотур- бирован- ные почвы	Криоземы	типичные (8)	O-CR-C <sub>1</sub>
			Криоземы грубогумусовые	типичные (9) глееватые (10)
		Торфяно-криоземы	типичные (11)	T-CR-C <sub>1</sub>
			глееватые (12)	T-CR <sub>(g)</sub> -C <sub>g</sub> <sub>1</sub>
		Синлито- генные	Аллюви- альные	Аллювиальные торфянисто- глеевые
Аллювиальные торфяно-глеевые	типичные (14)			T-G-CG ~ ~
Органо- генные	Торфяные	Торфяные олиготрофные мерзлотные	типичные (15)	TO-TT-TT <sub>1</sub>

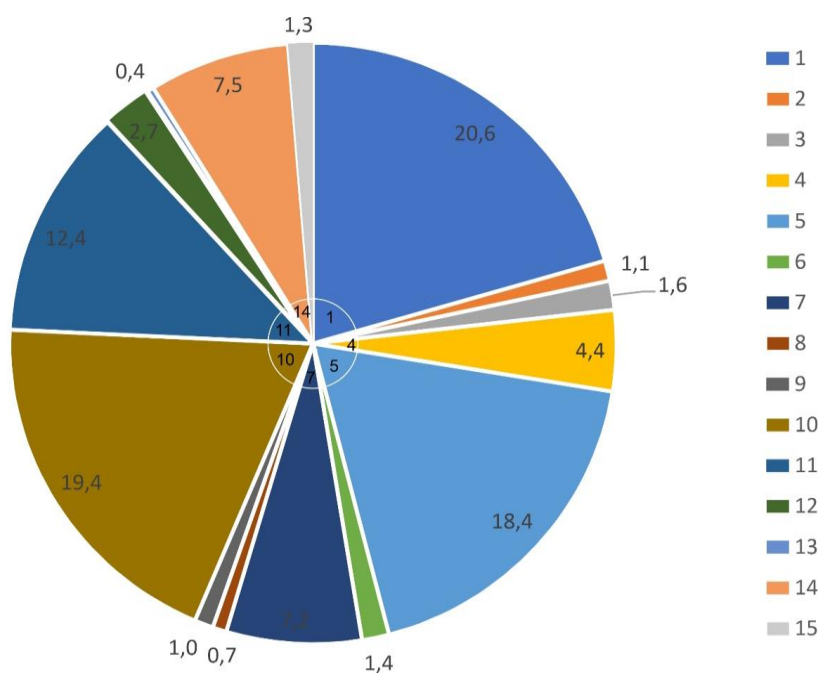
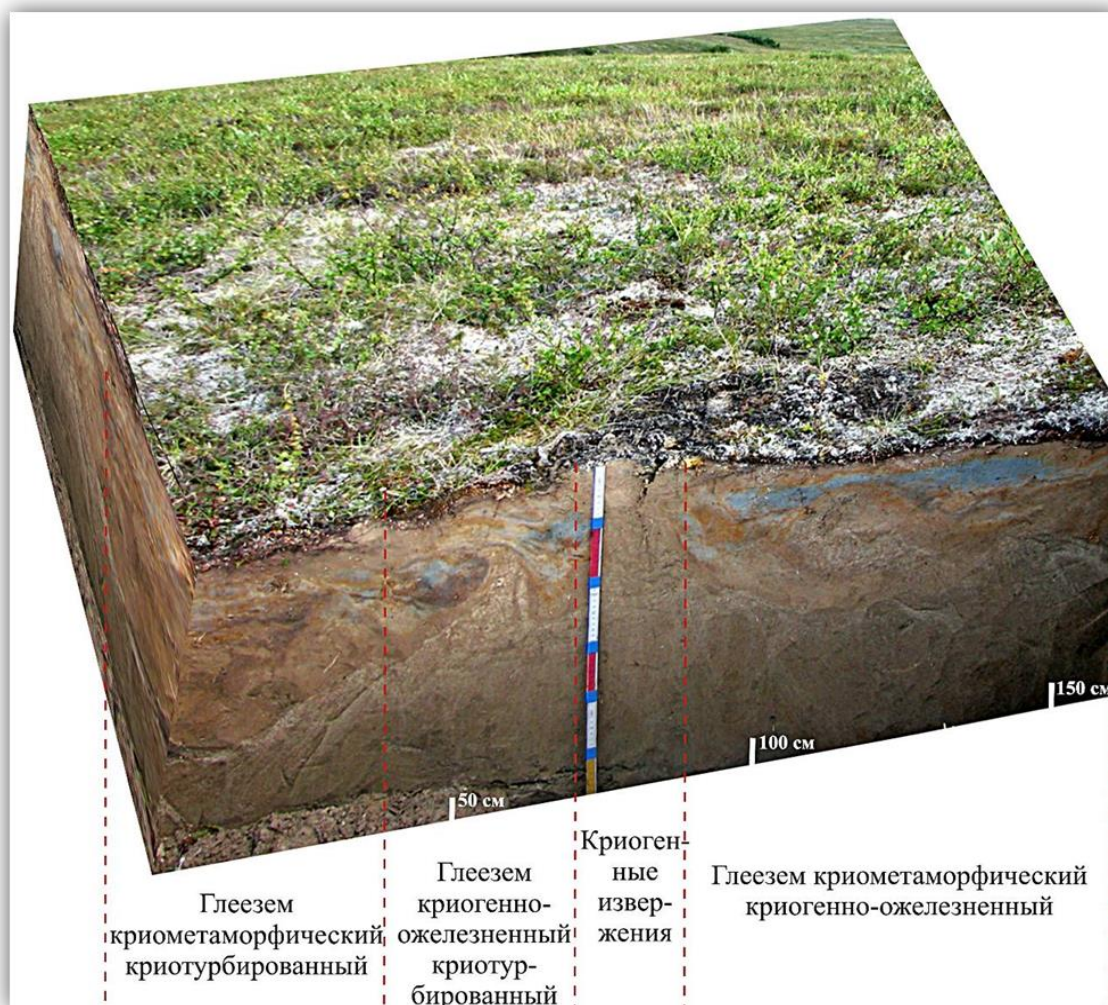


Рисунок 5. Процентное соотношение подтипов почв (см. табл. 1) с учетом их участия в почвенных комбинациях.



**Рисунок 6.** Пример неоднородности почвенного покрова типичной тундры Западной Сибири; в центре – пучинно-бугорковатый наноконкомплекс глееземов криогенно-ожезненных с пятнами (медальонами) криогенных извержений.

Структура почвенного покрова южной тундры, образованная почвенными комбинациями с ведущей ролью микроструктур, занимает около 30% изученной территории. На большей ее части в условиях расчлененного рельефа формируются почвенные комбинации с ведущей ролью мезоструктур (с учетом микроструктур входящих в состав сложных сочетаний). Почвенный покров здесь образован многократным пространственным повторением мозаик, вариаций, простых и сложных сочетаний, составленных почвами, относящимися к отделам криоземов, глеевых и аллювиальных почв (табл. 1, см. рис. 3). Мозаики распространены в трансупераквальных (Глазовская, 1973) ландшафтах долин ручьев. Это двухкомпонентные почвенные комбинации. Они представлены торфяно-глееземами и аллювиальными торфянисто- или торфяно-глеевыми почвами. Фактор дифференциации почв – различие почвообразующих пород.

Вариации образованы криоземами грубогумусовыми с их полугидроморфными аналогами, а также с торфяно-криоземами глееватыми. Эти почвенные комбинации формируются по нижним частям склонов к речным долинам и ложбинам стока. Основной фактор дифференциации почв в таких комбинациях – глубина залегания мерзлотного слоя и мощность его оттаивания в летнее время с образованием (или без) надмерзлотной верховодки, приводящей к гидрометаморфизации почвенного профиля.

Почвы простых сочетаний представлены глееземами, криоземами грубогумусовыми глееватыми и торфяно-криоземами. Пятнистости и пучинно-медальонные наноконкомплекс внутри сочетаний усложняют их геометрическое строение. Основными генетико-геометрическими формами данных почвенных комбинаций являются линейно-древовидные с нанопятнистыми включениями.



По площади наиболее крупных контуров все ЭПА и почвенные комбинации относятся к мелко- и среднеареальным (<30 га). Для сравнения, почвенные комбинации северо-таежной подзоны по этому показателю – мегамассивные (более 200 га) (Смоленцев, 2002).

Наибольшее количество выделенных контуров (93,5%) имеют очень мелкие размеры (<5 га). Мелкими размерами (5,1–10,0 га) характеризуются около 5% контуров. Всего два почвенных контура: аллювиальных торфяно-глеевых почв и мозаики этих почв с торфяно-глееземами, имеющие площадь 11,7 и 10,1 га, относятся к среднеареальным. Вариабельность размеров ЭПА и почвенных комбинаций средняя – 0,47–0,62 (табл. 2).

Таблица 2

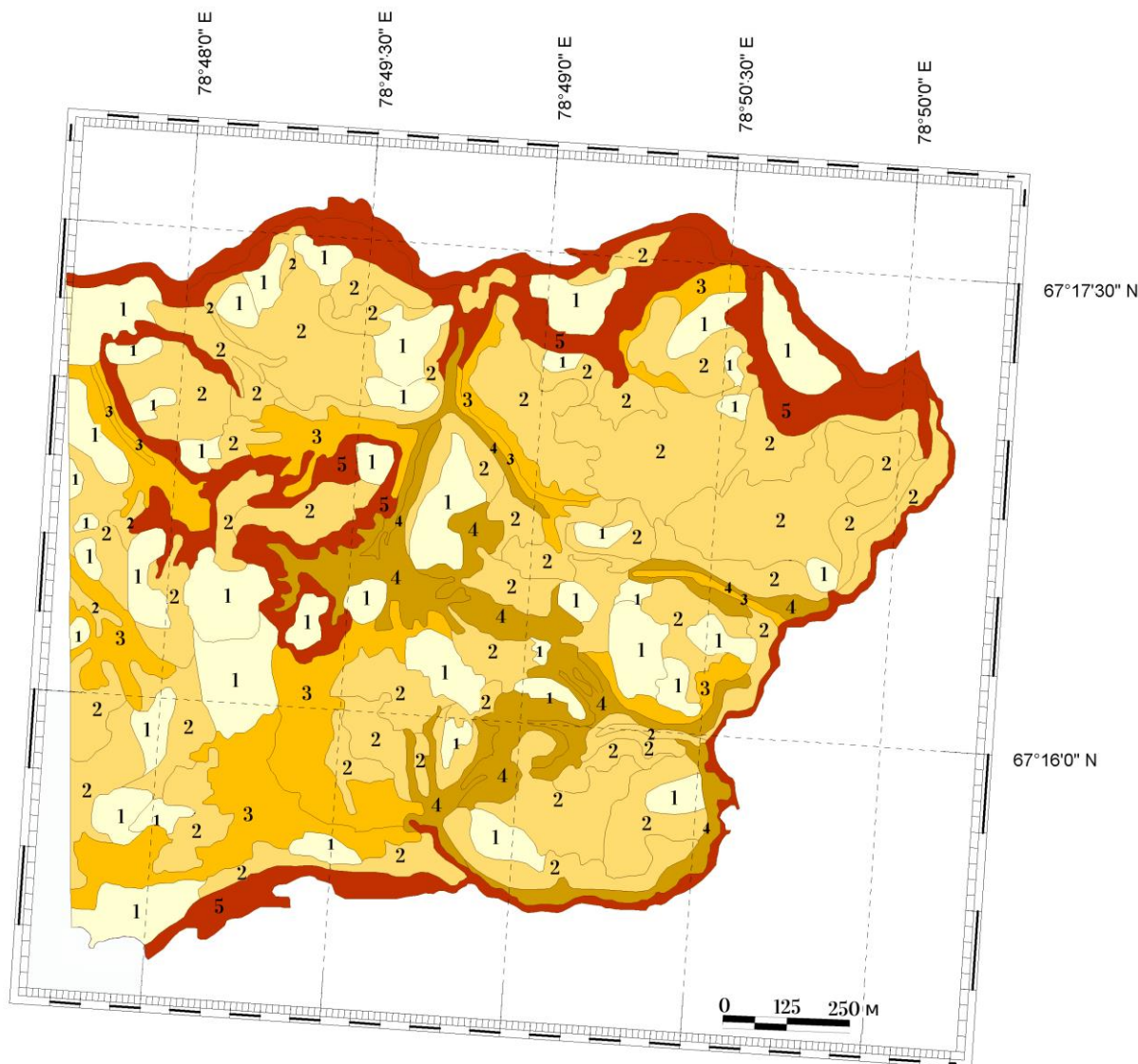
## Основные морфометрические показатели почвенных выделов участка № 1

№ почвенной комбинации на карте	Общая площадь, га	% от общей площади	Размеры ЭПА, ПК, га			Отношение максимальной к минимальной	Коэффициент расчленения			ДПК	ДПП	Количество контуров, п
			Средняя	Минимальная	Максимальная		Средний	Минимальный	Максимальный			
1	4,08	2,1	1,02	0,33	2,45	7	1,4	1,4	1,8	0,78	0,51	4
2	15,17	7,8	0,95	0,25	3,99	16	1,4	1,1	2,0	0,77	0,50	16
3	12,18	6,3	1,21	0,13	3,57	27	1,6	1,1	2,2	0,62	0,45	10
4	11,26	5,8	1,61	0,20	6,12	31	1,7	1,1	2,8	0,80	0,64	7
5	20,07	10,3	2,51	0,50	5,91	12	1,8	1,5	2,4	0,55	0,30	8
6	26,43	13,7	1,20	0,20	7,54	38	2,2	1,1	6,6	0,67	0,66	22
7	2,58	1,3	1,29	0,82	1,76	2	3,8	3,4	4,1			2
8	22,3	11,5	1,39	0,25	3,78	15	2,4	1,4	3,3	0,47	0,55	16
9	5,26	2,7	1,32	0,90	1,93	2	2,5	1,8	3,5	0,24	0,33	4
10	5,77	3,0	5,77				4,4		4,4			1
11	5,41	2,8	1,8	0,82	2,69	3	1,8	1,3	2,0	0,36	0,13	3
12	13,79	7,1	1,72	0,14	6,62	47	1,6	1,2	3,0	0,78	0,64	8
13	8,43	4,3	2,81	0,65	5,80	9	2,2	1,6	2,7	0,71	0,52	3
14	4,94	2,5	1,24	0,68	2,02	3	1,7	1,6	1,9	0,35	0,14	4
15	11,53	5,9	5,77	1,43	10,10	7	3,3	1,7	4,8	0,75	0,76	2
16	5,20	2,7	1,73	1,48	2,02	1	1,4	1,4	1,5	0,11	0,09	3
17	2,71	1,4	0,54	0,27	1,34	5	2,9	2,0	4,4	0,59	0,54	5
18	11,68	6,1	11,68		11,68		8,4		8,4			1
19	5,27	2,7	1,32	0,47	2,12	5	1,6	1,3	2,1	0,60	0,44	4
Общая	194,06	100	1,58	0,13	11,68		2,0	1,1	8,4			123

Примечание: ДПК – дифференциация величины почвенных контуров, ДПП – дифференциация величины почвенных периметров.

Наибольшие различия в размерах наблюдаются у торфяно-криоземов (0,78) и у глееземов (0,71–0,80). Высокие значения отношений максимальной площади к минимальной у глееземов связано с их приуроченностью к холмистым повышениям, имеющим разные размеры. У торфяно-криоземов высокие значения свидетельствуют об отсутствии препятствий для увеличения их размеров. Эти почвы формируются на плоских водоразделах; они эволюционируют из окружающих их глееземов и криоземов в результате процессов торфообразования и торфонакопления.

Большая часть почвенных контуров исследуемой территории имеют округлую или вытянутую форму со слабоизвилистыми границами и небольшой длиной внешнего периметра (по отношению к площади). Все это послужило причиной низкой величины коэффициента расчленения (КР) почвенных контуров: 83% имеют моноконтурное и слаборасчлененное строение ( $КР < 2,5$ ), 11% – расчленены в средней степени ( $КР 2,6–3,5$ ) и только 6% имеют сильнорасчлененное ( $3,6–4,5$ ) и изрезанное ( $>4,5$ ) строение (см. табл. 2, рис. 7).



**Рисунок 7.** Карта расчлененности почвенных контуров ключевого участка № 1 (1 – моноконтурные, 2 – слаборасчлененные, 3 – среднерасчлененные, 4 – сильнорасчлененные, 5 – изрезанные).

Наименьшей внешней расчлененностью характеризуются контуры ЭПА глееземов криогенно-ожеженных и почвенные комбинации с их фоном. Это связано с местоположением этих почв в рельефе: они занимают вершины холмообразных повышений, имеющих округлую форму. Ареалы данных почв и их комбинаций с другими почвами относятся к замкнутым слаборасчлененно-ареальным: средний КР – 1,4–1,8, что ниже среднего исследованной территории.

Сильнорасчлененное и изрезанное строение имеют ареалы почв, развивающихся узкими извилистыми полосами, окаймляющими подножия холмов, а также в сильно изрезанных ложбинах стока, в т.ч. долинах рек и ручьев. К подножию увалов приурочены глееземы криометаморфические криотурбированные, некоторые ареалы которых имеют один из самых высоких коэффициентов расчлененности – 6,6 (см. рис. 7, табл. 2).

Контуры вариаций криоземов грубогумусовых с их полугидроморфными аналогами характеризуются высокими средними значениями коэффициента расчленения, которые почти в 2 раза

превышают средний показатель всех контуров исследуемой территории. Почвы долин рек, торфяно-глееземы и аллювиальные торфяно- и торфянисто-глеевые, характеризуются наивысшей степенью расчлененности контуров (см. табл. 2, рис. 7).

В целом, почвенный покров исследованной расчлененной территории, с точки зрения сложности геометрического строения, характеризуется как мелкоареальный вытянуто-округлый слаборасчлененный, местами ветвистый изрезанный. Высокое значение коэффициента сложности обусловлено большим количеством почвенных выделов на единицу площади – в среднем 63 контура на 100 га. Это в несколько раз больше, чем у всех ранее изученных нами территорий (Смоленцев, Вологжина, 2004; Смоленцев, Смоленцева, 2005).

В условиях плоского рельефа формируются комплексы-пятнистости полигонально-валиковых болот из торфяно-криоземов и торфяных олиготрофных мерзлотных почв. Почвенный покров, образованный этими комбинациями, имеет дырчатое строение. Контуров торфяно-криоземов округлой или вытянутой формы опоясаны узкими извилистыми валиками из торфяных олиготрофных мерзлотных почв. Размеры ЭПА торфяно-криоземов очень мелкие – от 40 до 920 м<sup>2</sup>; средний размер ЭПА этих почв – 270 м<sup>2</sup>. Это на два порядка меньше размеров контуров почвенных комбинаций, формирующихся в условиях холмистого рельефа. ЭПА торфяно-криоземов характеризуются слабой изрезанностью, они нерасчлененные. Среднее значение коэффициента расчленения – 1,16, что свидетельствует об округлой слабо вытянутой форме ЭПА. Ареалы торфяных олиготрофных мерзлотных почв, опоясывающие ЭПА торфяно-криоземов имеют сильнодырчатое строение; средний коэффициент внутреннего расчленения – 14,1.

В целом, почвенный покров, сформировавшийся в условиях плоского рельефа, имеет очень сложное геометрическое строения (КС = 26,4), что обусловлено большим количеством очень мелких ЭПА. Если пересчитать количество ЭПА на 100 га площади, то оно составит около 2800 контуров.

Контрастность почв или их классификационная неоднородность, рассчитывалась по четырём показателям: степени выраженности криогенных признаков, признаков оглеения, оторфованности почв и характера органогенного горизонта (табл. 3).

Таблица 3

Группировка почв по степени выраженности криогенных признаков, признаков оглеения, оторфованности почв и характера органогенного горизонта

Признак	Степень выраженности	№ почвы по табл. 1
Проявление криогенных признаков	отсутствует	2, 13, 14
	наличие фронта промерзания	1, 4, 15
	признаки криотурбаций	3, 7
	наличие криогенной структуры	5, 6
	наличие криотурбированного горизонта	8, 9 10, 11, 12,
Проявление признаков оглеения	отсутствует	8, 9, 11, 15
	глееватые	10, 12
	наличие глеевого горизонта	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13, 14
Оторфованность	отсутствует	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10
	торфянистые (10–30 см)	13
	торфяные (30–50 см)	7, 11, 12, 14, 15
Характер органогенного горизонта	грубогумусовый	9, 10
	подстилочно-торфяный с наличием прослойки грубогумусового материала	2, 3, 4, 6
	подстилочно-торфяный	1, 5, 8
	торфяный	7, 11, 12, 13, 14, 15

Почвенный покров ключевого участка № 1 по величине суммарного коэффициента контрастности (табл. 4) характеризуется как полуконтрастный (табл. 5). Относительно невысокий показатель контрастности почвенного покрова обусловлен низким классификационным

разнообразием постлитогенных почв: всего два отдела этого ствола занимают 90,8% территории. Коэффициент неоднородности (см. табл. 4), как интегральный показатель уровня дробности, расчлененность и контрастность почвенного покрова расчлененной территории Притазовского заполярья характеризуют его как монотонно-гетерогенный (табл. 6).

Генетические различия почв ключевого участка № 2 обнаруживаются по наличию криотурбированного горизонта у торфяно-криоземов и его отсутствию у торфяных олиготрофных мерзлотных почв. По остальным показателям контрастности почвы не различаются. В соответствии с низким значением (0,3) коэффициента контрастности почвенный покров ключевого участка № 2 характеризуется как неконтрастный. Коэффициент неоднородности почвенного покрова (8,2), сформировавшегося в условиях плоского рельефа Притазовского заполярья, определяет его как гомогенно-монотонный.

Таблица 4

Морфогенетические показатели неоднородности почвенного покрова Притазовского заполярья

Площадь, га	Р, м	КР	КС	КК	КН
Ключевой участок № 1					
общая	194,06	115 398			
средняя	1,58	931	2,03	1,2	16,8
минимум	0,13	141	1,05		
максимум	11,68	10 160	8,40		
Ключевой участок № 2					
общая	2,651	9850			
средняя	0,035	131	1,38	26,4	0,3
минимум	0,004	27	1,06		
максимум	0,857	5233	15,97		

Примечание. Р – периметр, КР – коэффициент расчленения, КС – коэффициент сложности, КК – коэффициент контрастности, КН – коэффициент неоднородности.

Таблица 5

Категории почвенного покрова по коэффициенту контрастности (КК)

Категория	Градация КК
Неконтрастный	$КК < 10$
Полуконтрастный	$10,01 < КК < 20$
Контрастный	$20,01 < КК < 30$
Пёстрый	$КК > 30$

Таблица 6

Категории почвенного покрова по коэффициенту неоднородности (КН)

Категория	Градация КН
Гомогенный	$КН < 4$
Монотонно-гомогенный	$4,01 < КН < 8$
Гомогенно-монотонный	$8,01 < КН < 12$
Монотонный	$12,01 < КН < 16$
Гетерогенно-монотонный	$16,01 < КН < 20$
Монотонно-гетерогенный	$20,01 < КН < 24$
Гетерогенный	$КН > 24$

## ВЫВОДЫ

1. В почвенном покрове Притазовского заполярья наиболее распространенными почвами являются глееземы и криоземы, занимающие 90,8% площади. Большинство ареалов этих почв слабо варьируют по площади и внешнему периметру, имея несложное геометрическое строение; исключение – ареалы почв, приуроченные к ложбинам стока и окаймляющие подножия холмов, имеющие сильно расчлененное и изрезанное строение. Ареалы аллювиальных и торфяных почв, занимающие 9,2% площади, имеют, соответственно, извилисто-полосчатую и дырчатую форму с сильно изрезанным строением. Наименьшими размерами элементарных почвенных ареалов (до 40 м<sup>2</sup>) характеризуются торфяно-криоземы полигонально-валиковых болот.

2. Главными дифференцирующими факторами почвенного покрова являются криогенез, глеевые процессы и детритогенез.

3. Структура почвенного покрова исследованного региона на 30% состоит из почвенных комбинаций с ведущей ролью микроструктур; тогда как на большей его части, в условиях расчлененного рельефа, формируются почвенные комбинации с ведущей ролью мезоструктур.

4. Классификационное разнообразие почв региона обусловлено разной степенью выраженности в них криогенных признаков, признаков оглеения, оторфованности и характера органогенного горизонта. Почвенный покров территорий с расчлененным рельефом намного разнообразнее такового территорий с плоским рельефом.

5. В целом почвенный покров Притазовского заполярья характеризуется как монотонно-гетерогенный для территорий с расчлененным рельефом и гомогенно-монотонный для территорий с плоским рельефом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В структуре почвенного покрова Притазовского заполярья элементарные почвенные ареалы (ЭПА) представляют собой исключение из-за их значительной мелкоконтурности. Размеры некоторых ЭПА настолько малы, что их невозможно выделить даже на детальных почвенных картах. В этой связи, основными элементарными единицами выделов при почвенном картографировании являются двух- и трёхкомпонентные почвенные комбинации (ПК). Почвенный покров (ПП) территорий с расчлененным рельефом более классификационно контрастен и менее геометрически сложен по сравнению с ПП территорий с плоским рельефом, который имеет очень сложное геометрическое строение из-за большого количества в нем мелких ЭПА. Мелкоконтурность и большое количество ЭПА и ПК на единицу площади сильно отличает почвенный покров тундры от ПП других биоклиматических зон Западной Сибири.

## ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 121031700316-9).

## ЛИТЕРАТУРА

Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г. Почвы севера Западной Сибири. Москва: Издательство Московского университета, 1986. 227 с.

Васильевская В.Д., Караваева Н.А., Наумов Е.М. Формирование структуры почвенного покрова полярных областей // Почвоведение. 1993. № 7. С. 44–55.

Воскресенский С.С. Геоморфологическое районирование СССР. Москва: Высшая школа, 1980. 343 с.

Гербер А.А., Кулижский С.П., Лойко С.В. Почвы криометаморфического отдела лесотундры Западной Сибири в пределах правобережной части р. Пур // Почвы Сибири: вызовы XXI века: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием (Новосибирск, 4–7 декабря 2017 г.). Томск: Издательский Дом ТГУ, 2017. Часть 1. С. 42–46.

Глазовская М.И. Почвы Мира. Москва: Издательство Московского университета, 1973. Том 2. 427 с.

Годельман Я.М. Классификационная система почвенного покрова // Почвоведение. 1991. № 6. С. 15–37.

Заров Е.А., Голубятников Л.Л., Лапшина Е.Д., Лойко С.В. Растительность и почвы тундровых ландшафтов Пур-Тазовского междуречья // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2022. № 1. С. 82–92. <https://doi.org/10.31857/S1026347022010188>

Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 2500000 / Научные редакторы: Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. Москва: «Талка+», 2013.

Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Лойко С.В., Кузьмина Д.М., Истигечев Г.И., Крицков И.В., Лим А.Г., Климова Н.В., Новоселов А.А., Константинов А.О., Новолодская Э.В., Кулижский С.П. Трансформация морфологических свойств почв вследствие закустаривания пятнистой тундры // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2022. № 59. С. 6–41. <https://doi.org/10.17223/19988591/59/1>

Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных почвенных карт. Москва: Типография Россельхозакадемии, 2006. 160 с.

Московченко Д.В., Романенко Е.А. Особенности элементного состава почв Пур-Тазовского междуречья // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Том 103. С. 51–84. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-51-84>

Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. Москва: Колос, 1973. 96 с.

Полевой определитель почв России. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

Роома И.П. О методике количественной характеристики структуры почвенного покрова // Почвенные комбинации и их генезис. Москва: Наука, 1972. С. 177–180.

Слагода Е.А., Новосёлов А.А., Королева Е.С., Кузнецова А.О., Бутаков В.И., Тихонравова Я.В., Зазовская Э.П. Следы криогенных процессов в поздненеоплейстоценовых отложениях // Криосфера Земли. 2022. Том XXVI. № 1. С. 21–35. <https://doi.org/10.15372/KZ20220103>

Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских увалов. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002. 118 с.

Смоленцев Б.А., Вологжина О.В. Пространственная и функционально-генетическая характеристика почвенных комбинаций Барабинской равнины // Сибирский экологический журнал. 2004. № 3. С. 355–366.

Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н. Особенности структуры почвенного покрова Сокурской возвышенности // Сибирский экологический журнал. 2005. № 5. С. 809–821.

Ткачева А.А., Лойко С.В., Климова Н.В. Почвы и растительность прирусловых пойм юга тундры в пределах пур-тазовского междуречья // Актуальные проблемы и перспективы развития геоэкологии: материалы VII Всероссийского научного молодежного геоэкологического форума с международным участием, посвященного 150-летию и 100-летию со дня рождения ученых-мерзлотоведов Михаила Ивановича Сумгина и Кирилла Фабиановича Войтковского. (Якутск, 27 июня – 07 июля 2023 года). Якутск: Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН, 2023. С. 114–117.

Таргульян В.О., Гудына А.Н., Терешков Г.М. Почвы // Природные условия освоения Тазовского нефтегазоносного района. Москва: Наука, 1972. С. 134–142.

Тонконогов В.Д. Почвенный покров // Ямало-Гыданская область (физико-географическая характеристика). Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. С. 169–197.

Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. Москва: Мысль, 1972. 424 с.

Фридланд В.М. Структуры почвенного покрова мира. Москва: Мысль, 1984. 240 с.

Юодис Ю.К. О структуре почвенного покрова Литовской ССР // Почвоведение. 1967. № 11. С. 50–55.

Loiko S.V., Klimova N.V., Kritckov I.V., Kuzmina D.M., Kulizhsky S.P. Soils and vegetation of the riverside floodplain in the hydrological continuum of the southern tundra within the Pur–Taz interfluvium (Western Siberia) // Acta Biologica Sibirica. 2023. Vol. 9. P. 293–315. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7879848>

Smolentsev B.A., Konarbaeva G.A. Soil characteristic and soil iodine content of trans-polar territory of Pur-Taz interfluvium of Western Siberia // Open Journal of Ecology. 2013. Vol. 8. P. 510–517. <https://doi.org/10.4236/oje.2013.38060>

*Поступила в редакцию 29.05.2024*

*Принята 17.10.2024*

*Опубликована 28.10.2024*

**Сведения об авторах:**

**Смоленцев Борис Анатольевич** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); [smolentsev.b@issa-siberia.ru](mailto:smolentsev.b@issa-siberia.ru)

**Махатков Игорь Дмитриевич** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [makhatkov@issa-siberia.ru](mailto:makhatkov@issa-siberia.ru)

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*



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

## Morphogenetic features of the soil cover structure in the Pritazovsky Arctic (West Siberia)

© 2024 **B. A. Smolentsev** , **I. D. Makhatkov** 

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: [smolentsev.b@issa-siberia.ru](mailto:smolentsev.b@issa-siberia.ru), [makhatkov@issa-siberia.ru](mailto:makhatkov@issa-siberia.ru)*

**The aim of the study.** To give a morphogenetic characterization of the soil cover structure (SCS) of the Pritazovsky Arctic.

**Location and time of the study.** Soil geography and soil genesis studies were carried out in 2009–2011 in the southern tundra zone of West Siberia on the left-bank part of the Taz River, in its lower reaches. Laboratory work, including analyses, was carried out in 2010–2016.

**Methods.** A large-scale and detailed soil survey was conducted at two key sites with different landscapes. The developed soil maps were digitized in the QGIS package. The obtained digital data about the areas and perimeters of soil areas and soil combinations were converted into MS Excel, where their mathematical processing was done. When classifying soil combinations, the taxonomic system of V.M. Friedland was taken as a basis, as well as the quantitative indicators for the SCS morphogenetic analysis, the indicators also proposed by V.M. Friedland.

**Results.** The basis of the soil cover of the Pritazovsky Arctic consists of Gleysols and Cryosols, which occupy 90,9% of the area. As for the largest areas of these soils, they vary slightly in area and outer perimeter length, having a simple geometric structure. All elementary soil areas (ESA) and soil combinations belong to small and medium-sized areas (<30 ha). More than 90% of the ESA have very small size (<5 ha). The smallest elementary soil areas are occupied by Follic-Cryosols of polygonal roller bogs. Most of the soil areas (83%) of the studied territory have a rounded or elongated shape with slightly curved borders and a short outer perimeter, which determines their monolithic and poorly articulated structure (the coefficient of dissection <2,5). The main differentiating factors of the soil cover are cryogenesis, gley processes, and detritogenesis. In general, the Pritazovsky Arctic soil cover is characterized as monotonously heterogeneous for territories with broken relief and homogeneously monotonous for territories with flat relief.

**Conclusions.** The soil cover of the Pritazovsky Arctic territories with a broken relief is more classificationally contrasting and less geometrically complex compared with the soil cover of the territories with a flat relief. The latter has a very complex geometric structure due to the large number of very small ESA. A mosaic of small soil areas, i.e. the large number of ESA and soil combinations per unit area, strongly distinguishes the tundra soil cover from the soil cover of other bioclimatic zones of West Siberia.

**Keywords:** Cryosol; Gleysols; soil cover structure; Pritazovsky Arctic; West Siberia.

**How to cite:** Smolentsev B.A. Makhatkov I.D. Morphogenetic features of the soil cover structure in the Pritazovsky Arctic (West Siberia) // *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(4). e270. DOI: [10.31251/pos.v7i4.270](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.270) (in Russian with English abstract).

### FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 121031700316-9).

### REFERENCES

Vasilevskaya V.D., Ivanov V.V., Bogatyrev L.G. Soils of the north of Western Siberia. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1986. 227 p. (in Russian).

- Vasilevskaya V.D., Karavaeva N.A., Naumov E.M. Formation of the structure of the soil cover of the polar regions. *Pochvovedenie*. 1993. No. 7. P. 44–55. (in Russian).
- Voskresensky S.S. *Geomorphological zoning of the USSR*. Moscow: Higher school, 1980. 343 p. (in Russian).
- Gerber A.A., Kulizhsky S.P., Loyko S.V. Soils of the cryometamorphic department of the forest tundra of Western Siberia within the right-bank part of the river Pur. In book: *Soils of Siberia: challenges of the XXI century*. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with international participation (Novosibirsk, 4–7 December, 2017). Tomsk: Publishing House of TSU, 2017. Part 1. P. 42–46. (in Russian).
- Glazovskaya M.I. *Soils of the World*. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1973. Vol. 2. 427 p. (in Russian).
- Godelman Ya.M. Classification system of soil cover // *Pochvovedenie*. 1991. No. 6. P. 15–37. (in Russian).
- Zarov E.A., Golubyatnikov L.L., Lapshina E.D., Loyko S.V. Vegetation and soils of tundra landscapes of the Pur-Taz interfluvial region. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series. Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2022. No. 1. P. 82–92. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S1026347022010188>
- Map of soil and ecological zoning of the Russian Federation. Scale 1 : 2500000 / Scientific editors: G.V. Dobrovolsky, I.S. Urusevskaya. Moscow: "Talka+", 2013. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).
- Loiko S.V., Kuzmina D.M., Istigechev G.I., Kritskov I.V., Lim A.G., Klimova N.V., Novoselov A.A., Konstantinov A.O., Novolodskaya E.V., Kulizhsky S.P. Transformation of morphological properties of soils due to thickening of spotted tundra. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2022. No. 59. P. 6–41. (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988591/59/1>
- Methodology for the compilation of large-scale agroecologically oriented soil maps. Moscow: Printing House of the Russian Agricultural Academy, 2006. 160 p. (in Russian).
- Moskovchenko D.V., Romanenko E.A. Elemental composition of soils of the Pur-Taz interfluvium. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2020. Vol. 103. P. 51–84. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-51-84>
- All-Union instruction on soil surveys and compilation of large-scale soil maps of land use. Moscow: Kolos Publ., 1973. 96 p. (in Russian).
- Field guide for Russian soil. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian).
- Rooma I.P. On the methodology of quantitative characterization of the soil cover structure. In book: *Soil combinations and their genesis*. Moscow: Nauka Publ., 1972. P. 177–180. (in Russian).
- Slagoda E.A., Novoselov A.A., Koroleva E.S., Kuznetsova A.O., Butakov V.I., Tikhonravova Ya.V., Zazovskaya E.P. Traces of cryogenic processes in Late Pleistocene sediments. *Kriosfera Zemli*. 2022. Vol. XXVI. No. 1. P. 21–35. (in Russian). <https://doi.org/10.15372/KZ20220103>
- Smolentsev B.A. The structure of the soil cover of Siberian hummocks. Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS, 2002. 118 p. (in Russian).
- Smolentsev B.A., Vologzhina O.V. Spatial and functional genetic characteristics of soil combinations of the Barabinsk plain. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2004. No. 3. P. 355–366. (in Russian).
- Smolentsev B.A., Smolentseva E.N. Features of the structure of the soil cover of the Sokur upland. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2005. No. 5. P. 809–821. (in Russian).
- Tkacheva A.A., Loyko S.V., Klimova N.V. Soils and vegetation of the coastal floodplains of the southern tundra within the Pur-Taz interfluvium. In book: *Actual problems and prospects of geocryology development*. Materials of the VII All-Russian Scientific Youth Geocryological Forum with international participation dedicated to the 150th and 100th anniversary of the birth of permafrost scientists Mikhail Ivanovich Sumgin and Kirill Fabianovich Voitkovsky. (Yakutsk, 27 June – 07 July, 2023). Yakutsk: Publishing house of the P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2023. P. 114–117. (in Russian).
- Targulyan V.O., Gudyna A.N., Tereshkov G.M. Soils. In book: *Natural conditions of development of the Tazovsky oil and gas bearing area*. Moscow: Nauka Publ., 1972. P. 134–142. (in Russian).
- Tonkonogov V.D. Soil cover. In book: *Yamalo-Gydan region (physical and geographical characteristics)*. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1977. P. 169–197. (in Russian).
- Friedland V.M. Structure of the soil cover. Moscow: Mysl Publ., 1984. 424 p. (in Russian).
- Friedland V.M. Structures of the soil cover of the world. Moscow: Mysl Publ., 1984. 240 p. (in Russian).



Juodis Y.K. On the structure of the soil cover of the Lithuanian SSR. Pochvovedenie. 1967. No. 11. P. 50–55. (in Russian).

Loiko S.V., Klimova N.V., Kritckov I.V., Kuzmina D.M., Kulizhsky S.P. Soils and vegetation of the riverside floodplain in the hydrological continuum of the southern tundra within the Pur–Taz interfluvium (Western Siberia). Acta Biologica Sibirica. 2023. Vol. 9. P. 293–315. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7879848>

Smolentsev B.A., Konarbaeva G.A. Soil characteristic and soil iodine content of trans-polar territory of Pur-Taz interfluvium of Western Siberia. Open Journal of Ecology. 2013. Vol. 8. P. 510–517. <https://doi.org/10.4236/oje.2013.38060>

*Received 29 May 2024*

*Accepted 17 October 2024*

*Published 28 October 2024*

#### **About the authors:**

**Boris A. Smolentsev** – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Geography and Genesis of Soils in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [smolentsev.b@issa-siberia.ru](mailto:smolentsev.b@issa-siberia.ru)

**Igor D. Makhatkov** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Geography and Genesis of Soils in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [makhatkov@issa-siberia.ru](mailto:makhatkov@issa-siberia.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



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