

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Гинзбург А.П., Лупачев А.В. Почвенно-Геоморфологическое строение и некоторые физико-химические свойства почв и природных вод прибрежно-морских криогенных ландшафтов Западного Шпицбергена // Арктика и Антарктика. 2025. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.1.72689 EDN: QXWIQK URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72689

Почвенно-Геоморфологическое строение и некоторые физико-химические свойства почв и природных вод прибрежно-морских криогенных ландшафтов Западного Шпицбергена

Гинзбург Александр Павлович

ORCID: 0009-0006-0424-547X

аспирант; лаборатория криологии почв; ФИЦ "Пущинский научный центр биологических исследований РАН"

142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, 2/2, оф. 23

✉ alexandrgiznburg13154@yandex.ru



Лупачев Алексей Владимирович

ORCID: 0000-0003-0116-8828

кандидат биологических наук

Старший научный сотрудник; Лаборатория криологии почв; ФИЦ "Пущинский научный центр биологических исследований РАН"

142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, 2/2, оф. 23

✉ a.lupachev@gmail.com

Статья из рубрики "Почвы холодных равнинных и горных регионов"**DOI:**

10.7256/2453-8922.2025.1.72689

EDN:

QXWIQK

Дата направления статьи в редакцию:

12-12-2024

Аннотация: Архипелаг Шпицберген – территория с уникальным ландшафтно-геологическим и биологическим разнообразием, которое находится под угрозой

деградации вследствие природной динамики температур воздуха и сокращения площади и мощности многолетнемерзлых пород. Кроме того, в настоящее время на Шпицбергене продолжается добыча полезных ископаемых (каменного угля, руд цветных металлов, углеводородов), а также из года в год возрастает объем туристического потока. Эти причины неминуемо приводят к активизации процессов трансформации местных арктических экосистем. Летом 2024 г. проведены полевые исследования почв и природных вод криогенных ландшафтов приморских низменностей на острове Западный Шпицберген в районах залива Грён-Фьорд (пос. Баренцбург) и бухты Колсбей (полярная станция Колсбей). Описаны 19 профилей почв, отнесённых к 8 различным типам. Почвы описывались в ходе полевых работ по классификации и диагностике почв России 2008 г. Заложение разрезов почв проводилось по ландшафтно-геохимическому (катенарному) принципу. В структуре почвенного покрова возвышенных геоморфологических уровней – I и II морских террас (в т.ч. частично перекрытых делювиальными шлейфами) доминируют криозёмы глееватые и петрозёмы гумусовые. Поверхность почв на этих уровнях осложнена нанополигональным криогенным микрорельефом. Почвенное разнообразие более низких геоморфологических уровней – речных пойм и низменных морских (периодически затапливаемых) аккумулятивных берегов, – представлено пелозёмы и петрозёмы, а также сульфидными солончаками, формирующимися в условиях близкого к поверхности залегания плотных пород и активного воздействия морских вод. Большая часть исследованных природных вод характеризуются невысокими значениями окислительно-восстановительного потенциала 100-250 мВ, а значения их кислотности варьируют в широких пределах от 6,5 до 9,5. Торфяно-глеевозёмы, развивающиеся на низменностях при периодическом затоплении морскими водами, характеризуются наиболее щелочной реакцией среды и сочетанием отрицательных значений окислительно-восстановительного потенциала (до -3 мВ) с высокой минерализацией (в пределах 3-5 г/л). Почвы этих ландшафтов являются наиболее перспективными для изучения латеральной миграции веществ в катенах приморских криогенных ландшафтов Шпицбергена, поскольку здесь могут формироваться контрастные латеральные геохимические барьеры.

Ключевые слова:

Многолетнемерзлые породы, Криогенные процессы, Криозем, Литозем, Петрозем, Погребенные почвы, Геохимия природных вод, Кислотность, Минерализация, Окислительно-восстановительный потенциал

Работа выполнена в рамках Государственного задания (ГЗ) № 123071700018-6 (ИФХиБПП РАН) по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на период 2021 – 2030 гг. по теме «Формирование и функционирование почвенного покрова в геологической истории Земли: ископаемые почвы девона и современный почвенно-мерзлотный комплекс архипелага Шпицберген»

Введение

Территория архипелага Шпицберген – один из немногих регионов европейского сектора Арктики, где многолетнемёрзлые породы (ММП) распространены не только в высокогорьях, но и на низменных прибрежных участках, в наибольшей степени занятых растительностью и подверженных антропогенному воздействию [1]. Эти ландшафты занимают здесь до 70% площади внеледниковых пространств [2-3]. ММП образовались

здесь в третичном периоде [4] и в настоящий момент, наряду с широко распространёнными криогенными процессами, являются важным фактором формирования и функционирования почвенного покрова ландшафтов [5]. В связи с этим, современная динамика развития криолитозоны в регионе, прежде всего – увеличение мощности деятельного слоя на фоне повышения среднегодовых температур воздуха [6-7], может в значительной мере отразиться на почвах прибрежно-морских криогенных экосистем Шпицбергена.

Современный почвенный покров Шпицбергена изучался российскими [8-13] и зарубежными специалистами [14-18]. Значительная часть почв в условиях гористой местности является высоко литогенной, бедной мелкоземом, слабозадернованной, подстилается на небольшой глубине скальным основанием и часто характеризуется отсутствием льдистой мерзлоты в профиле. Данные факторы обуславливают относительно невысокое разнообразие почвенно-растительного покрова в этих геоморфологических условиях. Береговая линия морей и прилегающие к ней участки суши, напротив, являются одними из наиболее сложно организованных, геохимически активных, динамично развивающихся и уязвимых компонентов экосистем [19], в т.ч. на Шпицбергене. Проникновение морских вод вглубь суши при нагонно-приливных явлениях, формирование зоны осушки при стоковых ветрах, привнос аллохтонного органического и минерального вещества, засоление почвенных профилей и растепление верхних горизонтов мерзлоты, в сочетании с широким набором почвенных и криогенных процессов в условиях близкого залегания многолетнемерзлых пород оказывают масштабное влияние на формирование уникальных и разнообразных комплексов криогенных почв и подстилающей многолетней мерзлоты [20-21].

Криогенные почвы и подстилающие их верхние горизонты многолетнемерзлых пород (почвенно-мерзлотные комплексы – ПМК [22]) являются важнейшим элементом функционирования полярных биомов в районах с близким (около 1 м) залеганием ММП. Строение, свойства и функционирование почвенного покрова и мерзлотная обстановка во многом определяют геохимические особенности полярных ландшафтов в отношении мобилизации, транзита и аккумуляции различных элементов и соединений, способных к миграции в почвенных профилях: их перераспределению за счет процессов почвообразования и криогенного массообмена, дальнейшей горизонтальной миграции по поверхности мерзлотного водоупора с надмерзлотным стоком, проникновению и криоконсервации в толще верхних слоев ММП, вынос в поверхностные водоемы и прибрежную морскую акваторию. В условиях современных климатических изменений строение структурных элементов ПМК и их взаимосвязь претерпевают существенные изменения: в современный биогеохимический круговорот вовлекаются ранее мерзлые переходный и промежуточный слои ММП [23]; процессы почвообразования трансформируются с изменением биоклиматических параметров среды и проникают на большую глубину; относительно более мощный деятельный слой включается в зону биологической активности и т.п.

Особый интерес в этом отношении представляет изучение ПМК регионов с высокотемпературными, динамичными ММП, таких как Западный Шпицберген. Основная цель работы заключается в предварительной характеристике почвенно-геоморфологического строения прибрежно-морских ландшафтов и изучении пространственного распределения некоторых физико-химических свойств почв и природных вод, а также криолитологических свойств верхних горизонтов ММП элементарных геохимических ландшафтов Западного Шпицбергена. Представлены

первые результаты морфологических и физико-химических исследований почв и подстилающих ММП в ходе полевых работ в конце июля 2024 г. на о. Западный Шпицберген в районе п. Баренцбург (залив Грён-Фьорд и бухта Колсбей).

Объекты и методы исследований

Объекты. Исследования проводились на двух ключевых участках – побережье залива Грён-Фьорд в районе п. Баренцбург (рис. 1) и побережье бухты Колсбей в заливе Ис-Фьорд вблизи одноимённой полярной станции (п/с). На приморских низменностях берегов залива Грён-Фьорд в различных ландшафтно-геоморфологических и геокриологических условиях было заложено 12 почвенных разрезов, в районе п/с Колсбей – 4 разреза.

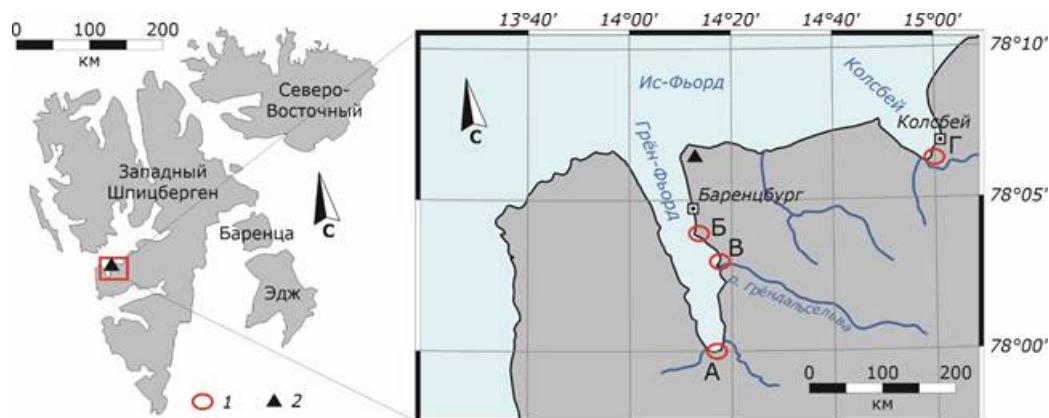


Рис. 1. Территория исследования (а) и ключевые участки на ней (б). 1 – ключевые участки исследования: южный берег зал. Грён-Фьорд (А), м. Финнисет (Б), дельта р. Грёндалльсельва (В), берег бух. Колсбей (Г). 2 – криосферный полигон Российского научного центра на арх. Шпицберген.

Физико-географические условия архипелага Шпицберген

Климат. Среднегодовая температура воздуха в Баренцбурге равна $-3,8^{\circ}\text{C}$. Безморозный период продолжается около 100 дней, вегетационный период – 40-70 дней. Сумма температур $>10^{\circ}\text{C}$ не превышает $400-450^{\circ}\text{C}$. За год выпадает до 565 мм осадков [24]. Зимой устанавливается снежный покров мощностью 1,5-2 м и плотностью 350-500 кг/м³ [25].

Четвертичные отложения и современный рельеф. Толща рыхлых четвертичных отложений Шпицбергена имеет мощность 50-60 м. Она представлена фрагментарно в тектонических и эрозионных понижениях и на приморских низменностях [26-27]. Литогенную основу прибрежно-морских ландшафтов составляют морские и ледниково-морские отложения верхнеплейстоценового и голоценового возрастов [27]. Около 12-10 тыс. лет назад имела место мощная морская трансгрессия, уровень моря превышал современный на 40-65 м. Вследствие этого морские отложения очень широко распространены в низменностях [28]. Около 60% территории занято горными и горно-долинными ледниками общей площадью 35 528 км². Ледниковые экзарация и аккумуляция активно преобразуют рельеф, перемещая и отлагая большие объемы пород [29]. Южное побережье зал. Ис-Фьорд, включая зал. Грён-Фьорд и бух. Колсбей – территория с самой активной дегляциацией в пределах всего архипелага: суммарная площадь ледников не превышает 10 км², а потеря площади ледников достигает 0,7-1%/год [30].

Геокриологические условия. Средняя мощность криолитозоны достигает 300 м [31]. Распространение ММП характеризуется как сплошное [3, 32-33], но на приморских низменностях, и в крупных речных долинах ММП несплошные и прерывистые [34]. На глубине нулевых сезонных амплитуд (около 20 м [35]), температуры варьируют от -5 до -2 ° С [36]. На криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (КП РНЦШ, рис. 1) на глубине 15 м среднегодовая температура ММП за 2015-2016 гг. составила -2,37°С [37]. Мощности сезонноталого слоя (СТС) на площадках CALM о. Западный Шпицберген варьируют от 60-70 до более чем 250 см [38]. На КП РНЦШ мощность СТС составляет 110-260 см.

Растительный покров. Благодаря отепляющему влиянию Северо-Атлантического течения, флора Шпицбергена достаточно разнообразна для района Высокой Арктики. Всего на архипелаге известно 167 видов сосудистых растений, примерно 380 видов мхов и лишайников и более 700 видов водорослей [39]. В районе Баренцбурга представлен типичный для среднеарктической зоны ряд растительных ассоциаций, состав которых варьируется в зависимости от литолого-геоморфологических особенностей территории [14].

Методы. Почвенные разрезы закладывались на ключевых участках до глубины залегания плотных пород, кровли ММП, либо уровня грунтовых вод (УГВ). Описание почв составлялось по полевому определителю [40]. По реакции с раствором жёлтой кровяной соли (K4[Fe(CN)6]) качественно устанавливалась интенсивность и актуальность оглеения. С помощью автоматического щупового термометра производились измерения температуры почв с шагом 10 см. Отбор образцов проводился по горизонтам.

Скелетность (щебнистость) почв (CF – coarse fraction) определялась в сухом состоянии как весовая доля почвенного крупнозёма (частиц крупнее 1 мм в диаметре) в общей массе образца. Расчёт производился по формуле:

$$CF, \% = (MT - MFF)/MT \cdot 100;$$

где МТ – общая масса сухого образца, МFF – масса мелкозёма (FF – fine fraction) – частиц с диаметром >1 мм.

Исследованы физико-химические параметры природных вод различного происхождения в 26 точках (4 – в морских водах; 2 – в заводях; 3 – в озёрах; 2 – в мочажинах; 4 – в реках и ручьях; 2 – в талых снеговых и ледовых водах; 10 – в грунтовых водах): температура (T), кислотность (pH), общее содержание легкорастворимых солей (TDS) и окислительно-восстановительный потенциал (Eh). Измерения велись автоматическими портативными электродами HM Digital (Hydromaster Inc., Республика Корея): СОМ-100 (T, TDS), PH-200 (pH) и ORP-200 (Eh), а также портативным мультиметром HI 98127 Combo (Hanna Instruments inc., Германия).

Анализ закономерностей распределения исследованных физико-химических свойств проводился по катенарному принципу. Названия элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ) приведены в соответствии с классификацией М.А. Глазовской [41] в изложении М.Д. Богдановой с соавт. [42] (табл. 1). Контрастность распределения и возможность формирования латеральных геохимических барьеров оценивались по значению коэффициента латеральной дифференциации (L), вычисляемому по формуле:

$$Lx = CxПЛ/CxАЛ;$$

где $CхПЛ$ – значение параметра x в подчинённом ЭГЛ, $CхАЛ$ – значение параметра x в автономном (элювиальном) ЭГЛ [41].

Таблица 1. Расшифровка сокращённых названий типов ЭГЛ.

Тип ЭГЛ (индекс)	Формы и элементы форм рельефа
Элювиальный (Э)	Плоские водораздельные поверхности, выпуклые вершины, надпойменные террасы, чётко выраженные в рельефе
Трансэлювиальный (ТЭ)	Слоны различной крутизны
Трансаккумулятивно-элювиальный (ТАЭ)	Надпойменные террасы, перекрытые делювиальными шлейфами, склоны приводораздельные террасовидные
Транзитный периодически супераквальный (ТС)	Высокие и средние поймы
Супераквальный транзитный (СТ)	Низкие поймы
Аквальный (А)	Реки и др. водные объекты

Результаты

Ключевой участок «Южный берег залива Грён-Фьорд» ($77^{\circ}57'51.85''$ С; $14^{\circ}18'30.16''$ В)

В литологическом плане ландшафты ключевого участка «А» в значительной степени сформированы аккумулятивным материалом ледника. Большая часть площади южного берега залива занята крупной КМГ, в которой временными водотоками промыты глубокие эрозионные борозды, и накоплены толщи проловиального материала (рис. 2Б). Визуальных признаков засоления почв или типичной для засолённых маршей галофильной растительности не наблюдается. В отличие от почв на морском аккумулятивном берегу, воды в разрезе SVB-24-08 на низкой пойме более минерализованы ($TDS = 1\ 342,5$ мг/л). В настоящее время их толщу размывает ручей, стекающий с ледника Восточный Грён-Фьорд, минерализация воды в котором превышает 5 000 мг/л в нижнем течении (рис. 2Б).

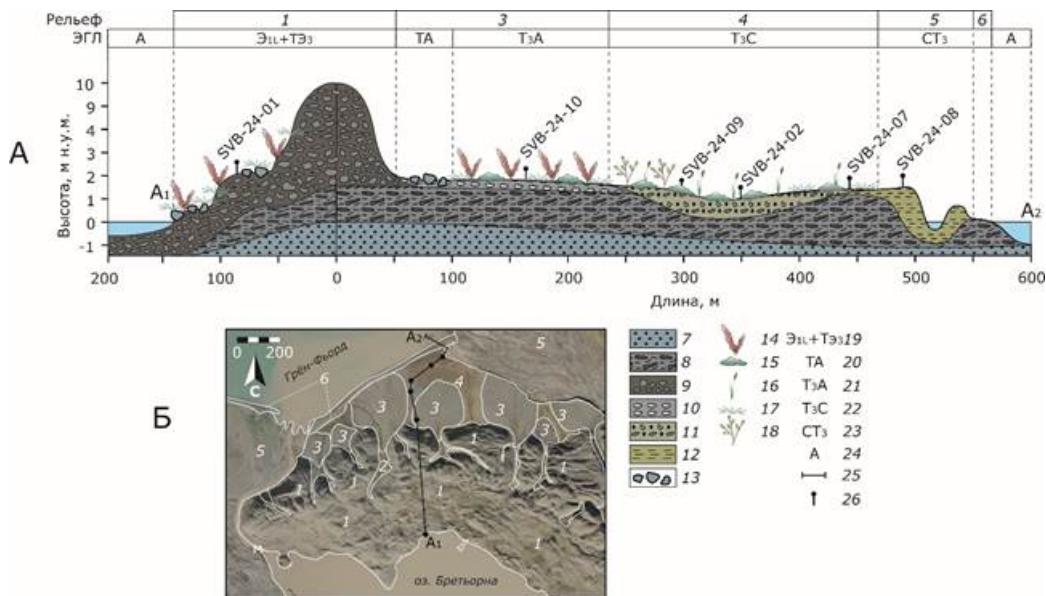


Рис. 2. Ландшафтно-геоморфологические профиль (А) и картосхема (Б) ключевого

участка «Южный берег залива Грён-Фьорд». Формы рельефа: 1 – конечно-моренная гряда, 2 – эрозионные борозды, 3 – конус выноса, 4 – морской аккумулятивный берег, 5 – низкая пойма, 6 – пляж. Литологический состав отложений: 7 – песчаные и супесчаные морские, 8 – суглинистые ледниково-морские с галькой и щебнем, 9 – суглинистые ледниковые с валунами, 10 – щебнистые пролювиальные, 11 – песчаные с галькой и щебнем ледниково-морские, 12 – суглинистые морские, 13 – отдельные находки крупных валунов. Растительность: 14 – щавель, 15 – мхи, 16 – злаковые, 17 – лишайники, 18 – ивняки. Элементарные геохимические ландшафты: 19 – элювиальный первого порядка с преобладанием латеральной миграции + трансэлювиальный с активным выносом, 20 – трансаккумулятивный, 21 – транзитно-аккумулятивный, 22 – транзитный периодически супераквальный, 23 – супераквальный транзитный; 24 – профиль по линии А1-А2, 25 – почвенные разрезы.

Большая часть территории всего ключевого участка лишена сомкнутого растительного покрова. На каменных мостовых, ландшафты которых сформировались на плоских пологонаклонных поверхностях конусов выноса, щавелево-мохово-лишайниковая растительность произрастает в трещинах между валунами и скоплениями гальки (рис. 2А). Поверхность высокой поймы имеет гораздо больший процент проективного покрытия растительности. На возвышенной части поймы растительная ассоциация представлена ивово-мохово-злаковыми и злаково-мохово-лишайниковыми тундрами, а в неглубоком понижении на этой пойме встречается мохово-злаковая растительность (рис. 2А). Поверхность почвы на высокой пойме практически полностью покрыта мелкими (до 20 см в высоту) моховыми кочками, которые на небольшом удалении от берега чередуются с широкими параллельными полосами отступания моря.

Описанные почвы были отнесены к литозёмам грубогумусовым (разрез SVB-24-10), петрозёмам гумусовым (разрез SVB-24-02, SVB-24-07 и SVB-24-09) и солончакам вторичным на погребённых грубогумусовых почвах (разрез SVB-24-08). Для большей части из них характерна скелетность выше 50%, исключение составляет верхняя часть профиля вторичного солончака, в которой крупная фракция занимает всего 19% всей минеральной массы.

В нижней части профиля почвы SVB-24-07 находится суглинистый горизонт мощностью 10 см, отличающийся пониженной скелетностью (47,7%) и тиксотропностью. Этот горизонт чётко морфологически выражен и сходен с горизонтом почвообразующей породы в погребённом профиле грубогумусовой почвы (разрез SVB-24-08).

Ключевой участок «Мыс Финнисет» (78°2'36.26" С; 14°13'42.80" В)

На ключевом участке «Б» на м. Финнисет в 3 км к югу от п. Баренцбург было заложено 2 почвенных разреза. В геоморфологическом плане эта территория представляет собой удлинённый, выдающийся в море мыс, сформированный при активном выносе ледникового, ледниково-морского и флювиогляциального материала временем водотоком. Северная часть мыса приподнята на 7-10 м н.у.м., она прорезана несколькими V-образными глубокими оврагами (рис. 3Б), в бортах которых вскрываются слои завалуненных флювиогляциальных супесей, чередующиеся с торфом. Южная часть мыса низменная, средняя высота не превышает 2-3 м н.у.м. Большая часть её поверхности характеризуется значительной степенью антропогенного преобразования: здесь расположен археологический памятник – китобойный комплекс конца XIX – начала XX вв. [\[43-44\]](#).

Выше по склону ландшафты пляжа и морского аккумулятивного берега сменяются

широким делювиальным шлейфом (рис. 3А) и крутым (около 30°) склоном, частично покрытым мохово-злаковой растительностью, на котором встречаются осыпные участки.

На участке делювиального шлейфа строение почвенного разреза SVB-24-05 демонстрирует чёткое разделение на два слоя – верхний суглинистый, содержащий небольшое количество гальки (делювиальный), и нижний с песчаным мелкозёмом, содержащий до 75% гальки (ледниково-морской) (рис. 3). Профиль разреза SVB-24-06 менее чётко разделён на горизонты литологически. Этот разрез был заложен на более влажной, чем делювиальный шлейф, поверхности, сложенной ледниково-морскими песками, содержащими до 82% крупной фракции. Видовой состав растительности незначительно различается между участками заложения двух почвенных разрезов, однако поверхность делювиального шлейфа вблизи разреза SVB-24-05 более кочковатая, что является признаком начальных стадий криогенного пучения суглинков (рис. 6б).

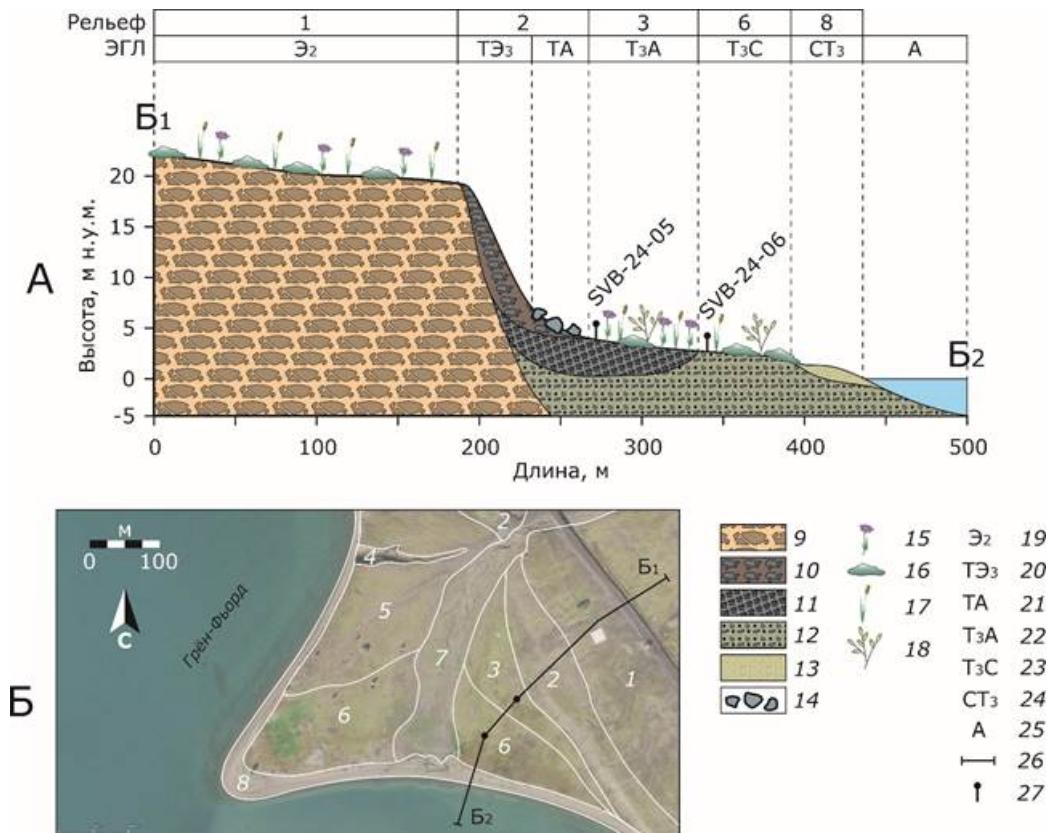


Рис. 3. Ландшафтно-геоморфологические профиль (А) и картосхема (Б) ключевого участка «Мыс Финнисет». Формы рельефа: 1 – II морская аккумулятивная терраса, 2 – частично осыпной коренной склон II морской террасы, 3 – делювиальный шлейф склона, 4 – V-образные эрозионные врезы (овраги), 5 – пологий склон I морской террасы, 6 – морской аккумулятивный берег, 7 – пойма ручья, 8 – пляж. Литологический состав отложений: 9 – коренные, 10 – крупнообломочные делювиальные, 11 – суглинистые с галькой и дресвой делювиальные, 12 – песчаные с галькой ледниково-морские, 13 – песчаные морские, 14 – отдельные находки крупных валунов. Растительность: 15 – разнотравье, 16 – мхи, 17 – злаковые, 18 – ивняки. Элементарные геохимические ландшафты: 19 – элювиальный второго порядка, 20 – трансэлювиальный с активным выносом, 21 – трансаккумулятивный, 22 – транзитно-аккумулятивный, 23 – транзитный периодически супераквальный, 24 – супераквальный транзитный; 25 – аквальный; 26 – профиль по линии Б1-Б2; 27 – почвенные разрезы.

Ключевой участок «Долина реки Грёндальсельва» (78°1'31.57" С; 14°18'44.52" В)

Ключевой участок «В» в долине р. Грёндальсельва расположен в 5 км к юго-востоку от п. Баренцбург на правом берегу реки в районе её впадения в зал. Грён-Фьорд (рис. 4). II морская терраса частично перекрыта делювиальным шлейфом, основная часть которого расположена ниже по склону (рис. 4Б). Крупнообломочно-суглинистые отложения делювиального шлейфа в разрезе содержат морфологические проявления криотурбаций в виде изогнутых линий границ между почвенными горизонтами, а также наличия крупных кочек и минеральных пятен-медальонов на поверхности. Почвы подобных местообитаний были диагностированы как криоземы глеевые (разрез SVB-24-12) (рис. 6а).

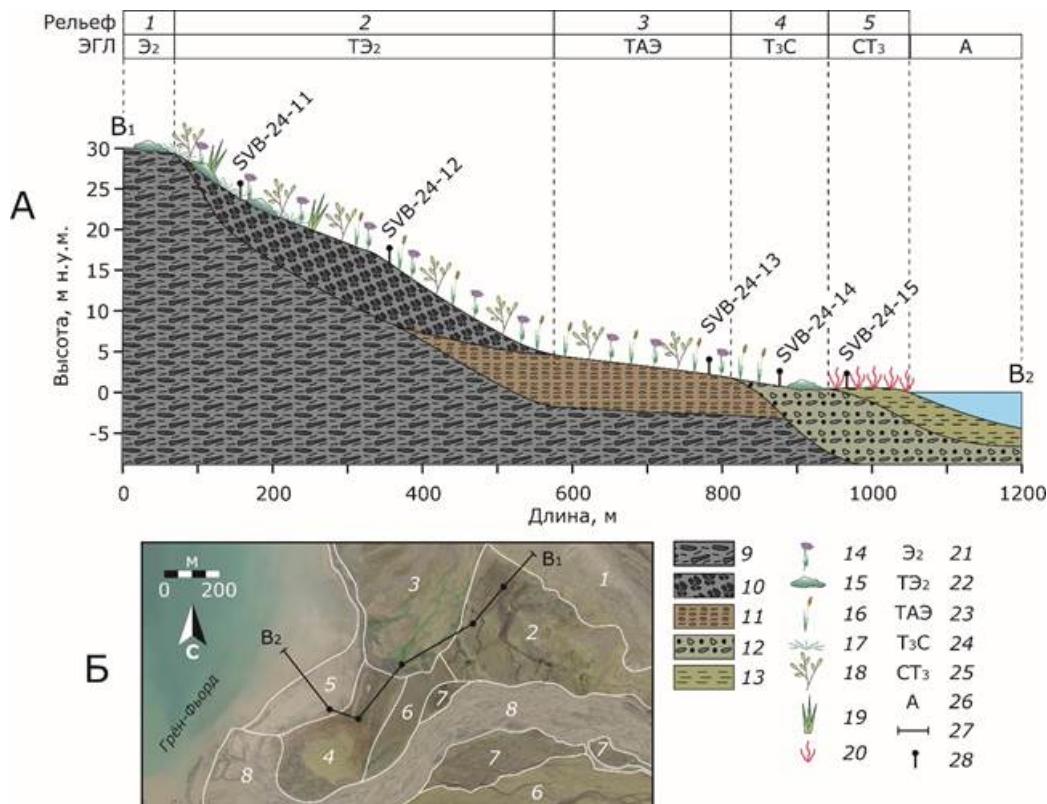


Рис. 4. Ландшафтно-геоморфологические профиль (А) и картосхема (Б) ключевого участка «Долина реки Грёндальсельва». Формы рельефа: 1 – II морская терраса, частично перекрыта делювиальным шлейфом, 2 – делювиальный шлейф, 3 – пологий склон I морской террасы, 4 – высокая пойма, 5 – морской аккумулятивный берег, 6 – средняя пойма, 7 – низкая пойма, 8 – русло реки. Литологический состав отложений: 9 – коренные, 10 – крупнообломочно-суглинистые делювиальные, 11 – песчано-суглинистые с галькой и дресвой аллювиальные, 12 – песчаные с галькой и дресвой аллювиальные, 13 – суглинисто-песчаные морские. Растительность: 14 – разнотравье, 15 – мхи, 16 – злаковые, 17 – лишайники, 18 – ивняки; 19 – осоки, 20 – солянки. Элементарные геохимические ландшафты: 21 – элювиальный второго порядка, 22 – трансэлювиальный с умеренным выносом, 23 – трансэлювиально-аккумулятивный, 24 – транзитный периодически супераквальный, 25 – супераквальный транзитный, 26 – аквальный; 27 – профиль по линии В1-В2; 28 – почвенные разрезы.

Ниже по склону наблюдается переход делювиального шлейфа в участок нижней части пологого склона I морской террасы. Растительная ассоциация при этом переходе меняется незначительно, из её состава выпадают виды семейства осоковых и большую роль приобретают злаковые (рис. 4А).

Ключевой участок «Берег бухты Колсбей» (78°6'22.29" С; 15°1'29.31" В)

Бухта Колсбей расположена примерно в 18 км к востоку от п. Баренцбург в месте впадения в зал. Икс-Фьорд рек Колсельва и Сьюнна (рис. 5). Большая часть исследованного ключевого участка расположена в широкой долине, образованной их нижними течениями. Низкие поймы заболочены, некоторые их участки сложены современными морскими лёгкими и средними суглинками, в которых ярко проявляется оглеение, о чём свидетельствуют их цвет, отсутствие в них структуры, вязкость, признаки новообразования сульфидов и др. характеристики. Поверхность поймы покрыта сеткой трещинно-полигонального рельефа, несмотря на относительно высокие зимние температуры в этом районе. Растительность высоких пойм наиболее разнообразная, в её составе доминирует мохово-лишайниково-злаковое разнотравье. Выше по склону из состава ассоциации выпадают ивняк и разнотравье, а доминирующие позиции занимают мхи и злаковые. Склоны долины пологие, ступенчатые. Вблизи п/с Колсбей и расположенных рядом зданий шахты и кернохранилища, вероятно, производилось искусственное террасирование склонов для стабилизации опор системы водопровода.

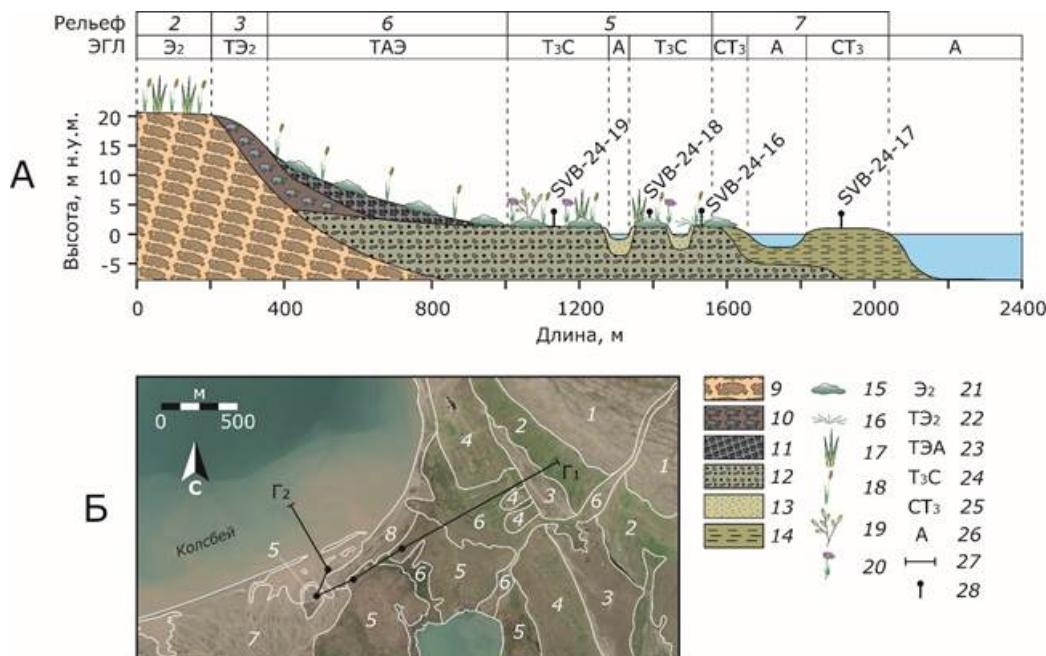


Рис. 5. Ландшафтно-геоморфологические профиль (А) и картосхема (Б) ключевого участка «Берег бухты Колсбей». Формы рельефа: 1 – II морская терраса, 2 – пологий склон II морской террасы, 3 – I морская терраса, 4 – пологий склон I морской террасы, 5 – высокая пойма, 6 – днища временных водотоков, 7 – низкая пойма, 8 – пляж; Литологический состав отложений: 9 – коренные, 10 – крупнообломочно-суглинистые делювиальные, 11 – песчано-суглинистые с галькой и дресвой пролювиально-делювиальные, 12 – песчаные с галькой и дресвой аллювиально-морские, 13 – песчаные аллювиально-морские, 14 – песчано-суглинистые морские. Растительные ассоциации: 15 – моховые, 16 – лишайниковые, 17 – осоковые, 18 – злаковые, 19 – ивняковые; 20 – разнотравные, 21 – солянковые; Элементарные геохимические ландшафты: 21 – элювиальный второго порядка, 22 – трансэлювиальный с умеренным выносом, 23 – трансэлювиально-аккумулятивный, 24 – транзитный периодически супераквальный, 25 – супераквальный транзитный, 26 – аквальный, 27 – профиль по линии Г1-Г2; 28 – почвенные разрезы.

Почвы высоких пойм, причем как соединенные с бортом долины, так и обособленные их участки, имеют сложное строение. Разрез SVB-24-16 (рис. 6а) представляет собой сочетание горизонтов, указывающее на резкую смену этапов и характера почвообразования. Верхняя часть разреза по строению близка к почве с серогумусовым

горизонтом AY. Её горизонты слабо реагируют с раствором кровяной соли и содержат рыжеватые пятна в нижней части горизонта. Ниже находится практически чёрный, окрашенный сульфидами железа, бурно реагирующий с раствором кровяной соли горизонт [GsC]. Под ним расположен надмерзлотный горизонт [Gss][⊥] с многочисленными включениями дресвы. Кровля ММП находится на глубине 75 см от поверхности почвы, благодаря чему весь сложный профиль почвы может быть классифицирован как мерзлотный.

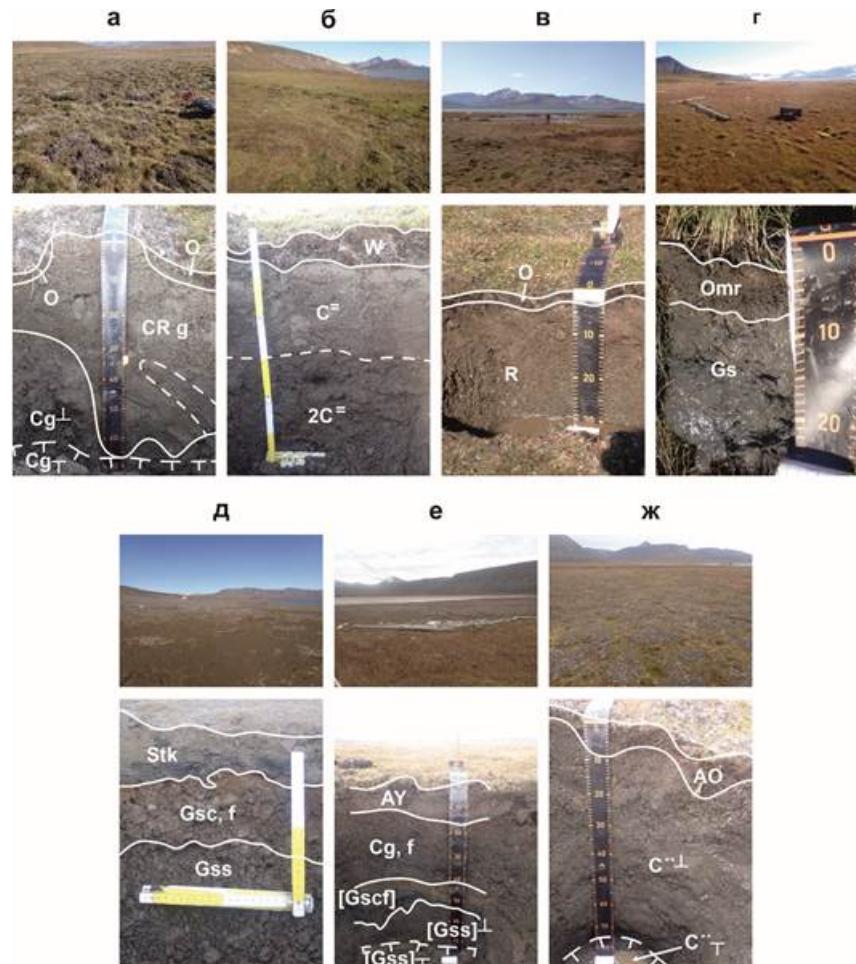


Рис. 6. Разнообразие ландшафтов и профили почв различных уровней рельефа приморских низменностей Западного Шпицбергена, исследованных в 2024 г.: а) делювиальный шлейф – криозём глееватый; б) делювиальный шлейф – пелозём гумусовый; в) I морская терраса – петрозём типичный; г) морской аккумулятивный (периодически затапливаемый) берег – глеезём иловато-торфяный засолённый; д) высокая пойма – грубогумусовая мерзлотная почва; е) низкая пойма – серогумусовая ожелезнённая почва на погребённом солончаке сульфидном ожелезнённом мерзлотном; ж) изолированное засолённое понижение на морском аккумулятивном (периодически затапливаемом) берегу – солончак сульфидный ожелезнённый.

Разрез SVB-24-18 представляет собой систему почвенных профилей, верхний из которых имеет горизонты AYg и Cf. Серогумусовый глееватый горизонт AYg, в приповерхностной части которого содержится также ярко-красная зона мощностью около 1 см. Он, в свою очередь, залегает на погребённом профиле, который по строению напоминает криозем грубогумусовый с сочетанием горизонтов AO, CR[⊥] и нижележащим C_T. Следовательно, строение почвы имеет вид AYg – Cf – [AOg, f – CRf[⊥]] – C_T (рис. 6е).

Физико-химические свойства природных вод

В таблице 2 приведены основные физико-химические параметры природных вод в пределах исследованных в 2024 г. ландшафтов Западного Шпицбергена. Они формируют геохимические особенности ландшафтов, а также внутренние взаимоотношения между различными ЭГЛ.

Таблица 2. Варьирование физико-химических параметров природных вод архипелага Шпицберген, исследованных в 2024 г.

Параметр	pH	Eh, мВ	TDS, г/л
Воды	По типам вод		
Морские ($n = 6$)	$8,5 \pm 0,4$	$121,7 \pm 19,7$	$3,6 \pm 2,1$
Озёрные ($n = 4$)	$8,0 \pm 0,6$	$191 \pm 35,1$	$0,17 \pm 0,19$
Речные ($n = 4$)	$8,3 \pm 0,4$	$155,8 \pm 35,3$	$0,86 \pm 1,43$
Лед/снег ($n = 2$)	$8,3 \pm 0,4$	$134,5 \pm 92,6$	$0,04 \pm 0,01$
Грунтовые ($n = 11$)	$7,7 \pm 0,6$	$174,5 \pm 73,2$	$1,02 \pm 1,59$
Уровни	По геоморфологическим уровням		
Водоразделы и автоморфные поверхности морских террас ($n = 1$)	8,4	187	0,083
Крутые склоны террас ($n = 2$)	$8,2 \pm 0,4$	$186 \pm 8,5$	$0,134 \pm 0,09$
Пологие склоны, в т.ч. на делювиальных шлейфах ($n = 2$)	$7,5 \pm 1,0$	$179,7 \pm 96,0$	$0,3 \pm 0,23$
Высокие поймы ($n = 6$)	$8,1 \pm 0,5$	$149 \pm 30,8$	$0,18 \pm 0,10$
Низкие поймы ($n = 11$)	$7,9 \pm 0,5$	$176 \pm 77,1$	$0,18 \pm 0,10$
Морские аккумулятивные (периодически затапливаемые) берег ($n = 6$)	$8,5 \pm 0,4$	$121,7 \pm 19,7$	$3,63 \pm 2,12$

Примечание: в ячейках таблицы среднее значение \pm стандартное отклонение.

Мощности СТС и криогенные текстуры верхних слоёв мёрзлых пород

В пределах исследованной территории мощности СТС были зафиксированы на глубинах от 80 до 115 см. Чаще всего относительно небольшие глубины сезонного протаивания отмечались на участках, где распространены отложения утяжелённого гранулометрического состава и развит напочвенный осоково-злаковый и/или мохово-торфянистый покров – на слабонаклонных поверхностях рельефа в автоморфных позициях или близких к ним. На склонах с разреженным растительным покровом и на лишённых растительности участках низменных аккумулятивных берегов мощности СТС чаще всего превышают 200 и более см.

Верхние слои ММП, вскрытые на характерных глубинах 80-115 см, представляют собой слабольдистые толщи, характеризующиеся в основном корковой криогенной текстурой – лёд образует тонкие корки на поверхностях щебня. Текстурообразующий лёд преимущественно чистый, прозрачный, не отличающийся слоистостью или высоким содержанием пузырьков воздуха. В пределах участка в долине р. Грэндальсельва под мощными моховыми кочками был обнаружен мощный слой столбчато-стебелькового льда – прозрачного, не содержащего пузырьков воздуха, со столбиками-стебельками размером 15x2 см с прямоугольным или ромбовидным поперечным сечением (рис. 7).



Рис. 7. Столбчато-стебельковый лёд под моховыми кочками в приустьевой части длины р. Грендальсельва

Криогенный микрорельеф

Дневная поверхность территории приморских низменностей Западного Шпицбергена в значительной степени преобразована криогенными процессами. Среди наиболее распространённых форм криогенного микрорельефа – торфяные кочки (рис. 8а), трещинно-полигональные комплексы (рис. 8б), выпуклые пятна-медальоны (рис. 8в) и некоторые другие. Массовое формирование крупных пятен медальонов (средний диаметр основания такого пятна превышает 50 см, а высота может достигать 20 см), приурочено к делювиальным шлейфам, гранулометрический состав делювиальных отложений которых содержит как крупный щебень и гальку, так и тонкие илистые частицы. В результате перемещёнными на поверхность почвы оказываются большие количества щебня, а в зоне активного криогенного массообмена (в верхней части профиля криозёма – разрез SVB-24-12) образуется обеднённый щебнем криотурбированый суглинистый горизонт.

Обширные пространства тундровых ландшафтов высоких пойм в бухте Колсбей разбиты системой мерзлотных трещин. Площади полигонов небольшие, редко крупнее 1 м², форма их неправильная, вытянутая, со сглаженными углами (рис. 8б). Поверхности полигонов практически не покрыты растительностью, а межполигональные трещинные пространства заняты плотным, преимущественно моховым покровом. Несмотря на такие яркие геоботанические различия между микроформами криогенного рельефа, профильное строение почв слабо нарушается системой трещин. Глубина растрескивания не превышает нескольких сантиметров и чётких вертикальных клиньев они не образуют.



Рис. 8. Проявления криогенного микрорельефа на приморских низменностях Западного Шпицбергена: а) торфяные кочки; б) трещинно-полигональные комплексы; в) пятна-

медальоны.

Торфяные кочки занимают большие площади в пределах пойм и низких морских террас. Кочковатость формирует неоднородность глубины сезонного протаивания на нано- и микроуровне. Перепады высот не превышают 5 см. Роль стебелькового льда в формировании кочковатости особенно заметна в условиях близкого расположения открытого источника воды в мочажинах и мелких озёрах (рис. 8).

Обсуждение

Почвенно-геоморфологическое строение и геокриологические условия территории

Чередование морских трансгрессий и ледниковой аккумуляции, предположительно, является причиной формирования многочленных отложений на низменных участках аккумулятивных морских берегов. Так, по данным Б.Р. Мавлюдова и А.В. Кудинова^[45], один из крупнейших ледников вблизи зал. Грён-Фьорд – Альдегонда, на протяжении XX в. отступил от берега примерно на 4 км, тем самым обнажив значительный участок площади, на котором в настоящее время можно наблюдать развитие почв с «нуль-момента» почвообразования^[12]. Поверх ледниковых отложений (суглинков с включениями гальки и дресвы) в результате повышения уровня моря откладывалась толща морских песков и супесей, иногда с содержанием растительного детрита. Затем при отступлении моря, активизации оледенения и новом расширении границ перигляциальной зоны происходит повторное отложение ледникового материала. Такая последовательность, повторившаяся несколько раз за относительно короткое время, приводит к образованию контрастных слоев внутри почвенных профилей, с различным литологическим составом и структурными особенностями^[30].

На космических снимках территории ключевого участка «Южный берег залива Грён-Фьорд» видны 7 крупных конусов выноса, также возникшие в результате деятельности временных водотоков (рис. 2). Морской аккумулятивный берег за пределами конусов выноса сформирован сгонно-нагонными процессами. Об этом свидетельствуют находки большого количества фрагментов древесины. Однако, относительно невысокие значения минерализации грунтовых вод в почвенных разрезах SVB-24-02 и SVB-24-07 (TDS = 179,1 и 350 мг/л, соответственно) свидетельствуют об отсутствии устойчивой гидравлической связи между морскими и грунтовыми водами в настоящее время. Предположительно, отсутствие здесь признаков засоления связано также с промывным водным режимом почв. Низкая пойма сложена легко- и среднесуглинистыми отложениями (рис. 2А). Они, судя по наличию на поверхности такыровидных корок (в сухом состоянии покрывающихся сетью мелкополигональных трещин) с белёсыми выцветами минеральных солей (предположительно, хлоридно-натриевого состава) испытывают значительное влияние морских вод.

Все уровни рельефа на участке «Мыс Финнисет», включая II ледниково-морскую аккумулятивную террасу, прорезаны ручьем, течение которого, по-видимому, имеет временный характер, поскольку его воды формируются снежником на коренном склоне восточного побережья Грён-Фьорда. Об участии моря в формировании этих отложений, а также нижележащего слоя суглинков, свидетельствуют находки раковин двустворчатых моллюсков и их обломков^[46].

Предположительно, наблюдаемое на всех четырёх участках обеднение видового состава растительных ассоциаций при переходе от ЭГЛ на суглинистых почвах к ЭГЛ на более

лёгких, в т.ч. щебнистых отложениях, связано с дефицитом мелкозема в пределах корнеобитаемого слоя, а также с залеганием уровня грунтовых вод не глубже 30-40 см от поверхности почвы. Ландшафты низких аккумулятивных морских берегов сформированы при значительном участии морской аккумуляции засолённого суглинистого наилка, что подтверждает наличие тонкой корки выцветов солей на поверхности почвы (рис. 2А). Кроме того, грунтовые воды, вскрытые почвенными разрезами SVB-24-14 и SVB-24-15, имеют повышенную минерализацию – значения TDS равны 197 и 3040 мг/л, соответственно. Подобные ландшафты имеют ограниченный потенциал для роста большей части растений, уступая доминирующему положение солянковым.

Скважины, пробуренные в долине Адвентдален (район Лонгйира) в рыхлых делювиальных отложениях, нередко вскрывали серию высокольдистых слоёв атакситовой криотекстуры, в т.ч. это было характерно для насыщенных щебнем и галькой толщ [26]. Мощность СТС, зафиксированная по результатам анализа хода термометрических наблюдений за 2010-2011 гг. в скважине в Адвентдалене, составляет около 75 см, ниже залегает небольшой слабольдистый прослой, а ниже высокольдистая толща (предположительно, переходного слоя ММП). Скважина «Адвентдален» расположена на пологом склоне северной экспозиции одноимённой долины, а в скважине «Эндален» в аналогичных условиях, но в южной экспозиции, ежегодно протаивает примерно до 170 см, а высокольдистая толща переходного слоя, предположительно, практически полностью деградировала [47-48].

Результаты долговременного дистанционного зондирования степени выраженности криогенного микрорельефа [48], в целом указывает на его почти повсеместную деградацию, в особенности на низких геоморфологических уровнях. Тем не менее, в глубоких ложбинах стока на северных склонах, наблюдаются области, где за период 2009 – 2017 гг. сокращалось среднее время оттаивания за год, следовательно и глубина СТС, в результате чего может происходить новообразование ММП.

Варьирование физико-химических свойств природных вод

Значения pH природных вод, в т.ч. грунтовых, по мере перемещения от верхней части катенарного профиля к нижней, повышаются практически на 1 единицу. Это связано со значительной ролью морских вод в формировании физико-химических свойств почв нижних уровней рельефа и практически полным отсутствием их современного влияния на формирование свойств почв на высоких речных и морских террасах.

Эти участки формируются при значительном участии сгонно-нагонных движений морских вод, которые приводят к значительному засолению этих отложений, на поверхности которых отсутствует растительность, а в сухом состоянии наблюдаются белесые выцветы солей. Высокие поймы сложены крупным аллювиально-морским песком с высоким содержанием крупнообломочной фракции, предположительно, ледникового происхождения. На современном этапе почвообразования здесь развивается серогумусовая ожелезнённая глееватая почва. Под ней расположен профиль, предположительно, оставшийся от предыдущего этапа почвообразования, когда на этом участке формировался солончак сульфидный. Его строение достаточно близко к описанным в точках SVB-24-03 и SVB-24-15 (рис. 6). В верхней части погребённого профиля выделяется едва заметный прослой на глубине около 43-45 см от поверхности, вероятно, бывший ранее горизонтом SS (солончаковая такыровидная корка). В зависимости от точки зрения, возможна также интерпретация этого разреза, как

содержащего сразу два погребённых профиля. Его формула строения в таком случае может быть записана как: AY – [SSg – GsCox – Gss] – [SS – GsC – Gss]^Л – С_T. Согласно такой интерпретации, первый погребённый профиль является сульфидным солончаком, а ниже залегает второй практически аналогичный солончак.

Наиболее щелочными являются морские воды, значения pH в которых варьируют в интервале от 8,1 до 9,2 ед. Именно тип вод обуславливает наибольшие различия в кислотности среды элементарных ландшафтов – близость к морю и наличие устойчивой гидравлической связи вод суши с морскими водами приводит к тому, что в грунтовых водах некоторых прибрежных ландшафтов реакция среды является щелочной (разрез SVB-24-08 и др.). Максимальное значение pH 9,2 ед. при этом характерно для воды в заводи, не имеющей постоянного водообмена с морем, а одни из наименьших значений наблюдаются в почвах, разрезы которых были заложены на возвышенных участках рельефа на удалении от берега – SVB-24-06 (pH 7,2), SVB-24-13 (pH 6,7) и др. Между ключевыми участками исследования значения pH варьируют относительно слабо, средние значения отличаются друг от друга на 0,2 – 0,3 ед., тогда как интервалы варьирования практически совпадают (табл. 2). Явной закономерности увеличения или уменьшения среднего значения pH вверх или вниз по модельной геохимической катене не наблюдается. Коэффициент L отличается от 1 незначительно на протяжении всего ряда ЭГЛ (рис. 9).

Значения Eh демонстрируют довольно широкий разброс от –3 до 246 мВ. Весь диапазон значений при этом свойственен восстановительной среде (

Важнейшим фактором дифференциации значений TDS является тип вод, который в данном случае определяет варьирование как средних, так и максимальных значений TDS. Практически пресными водами (TDS не более 0,05 г/л) отличаются снега и льды, чуть более высока минерализация озерных и речных вод, разброс значений TDS которых объясняется различными соотношениями атмосферной (или ледниковой) и морской воды, которые формируют химический состав конкретного ландшафта. Так, в почвах участков, расположенных в непосредственной близости к морю, значения TDS нередко превышали 3,0 г/л (табл. 9), тогда как воды, выступавшие в почвах, исследованных на возвышенных участках рельефа, были близки к пресным. Устойчивый рост значений TDS заметен вниз по катене.

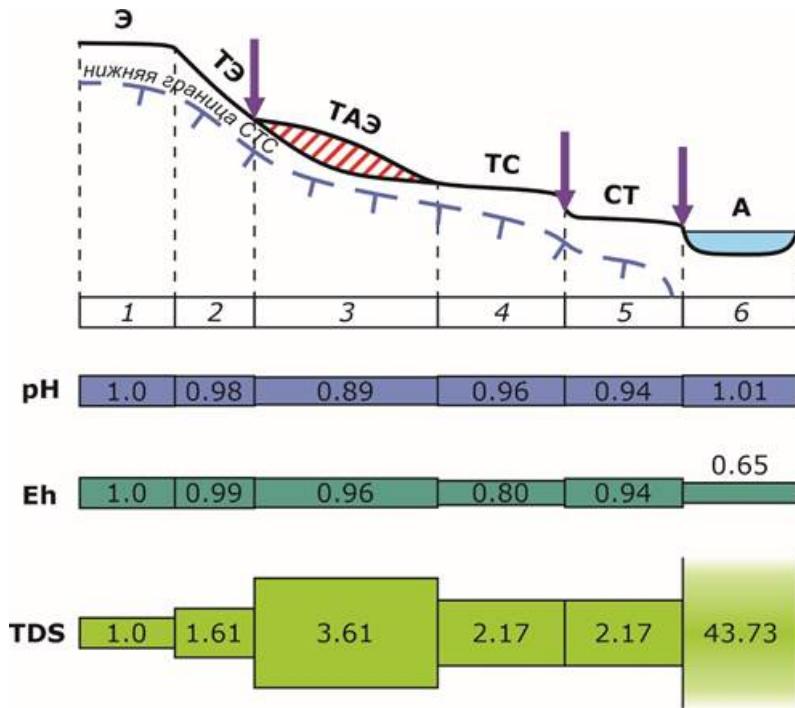


Рис. 9. Общие закономерности катенарных распределений физико-химических свойств природных вод на исследованных в 2024 г. участках Западного Шпицбергена. Геоморфологические уровни: 1 – водоразделы и автоморфные поверхности террас; 2 – крутые склоны террас; 3 – пологие склоны, в т.ч на делювиальных шлейфах; 4 – высокие поймы; 5 – низкая пойма; 6 – водные объекты. Элементарные геохимические ландшафты: Э – элювиальные; ТЭ – трансэлювиальные; ТАЭ – трансаккумулятивно-элювиальные; СТ – супераквально-транзитные; ТС – транзитно-супераквальные; А – аквальные. Красной наклонной штриховкой показан делювиальный шлейф, стрелками – местоположения латеральных геохимических барьеров.

Заключение

Строение большинства исследованных криогенных почв прибрежно-морских экосистем Западного Шпицбергена обнаруживает наличие контрастных слоев внутри почвенных профилей, с различным литологическим составом и структурными особенностями, что обусловлено чередованием морских трансгрессий и ледниковой аккумуляции на современном климатическом этапе развития. Развитый в настоящее время криогенный микрорельеф в весьма малой степени соответствует текущим климатическим условиям и относительно слабо поддерживается современными криогенными процессами. Увеличение мощности СТС также обуславливает практически повсеместную деградацию верхнего, переходного слоя ММП, однако масштабных ландшафтных перестроек на большей части территории не предвидится, в связи с неглубоким залеганием скальных пород. Роль морских вод в формировании современных физико-химических свойств почв является ведущей на нижних уровнях мезорельефа и практически не проявляется в свойствах почв на высоких речных и морских террасах.

В почвенно- и ландшафтно-геохимических катенах исследованных ключевых участков на Западном Шпицбергене, наиболее вероятно обнаружение восстановительных латеральных геохимических барьеров, которые развиваются из-за резкого падения значений Eh почв на границах между высокими и низкими поймами, а также между участками, более и менее подверженными влиянию сгонно-нагонных процессов и морской аккумуляции. Учитывая морскую аккумуляцию тонких илистых частиц в этих зонах, можно также предположить комплексную природу этих барьеров и

классифицировать их как восстановительно-сорбционные. В таком случае именно эти участки низких аккумулятивных морских берегов будут иметь повышенный потенциал аккумуляции разнообразных химических веществ, в т.ч. потенциально токсичных. С учётом наличия большого количества органического дегрита, этот потенциал может значительно увеличиться. Именно эти зоны могут представлять повышенный интерес для будущих эколого-геохимических исследований.

Библиография

1. Humlum O., Instanes A., Sollid J.L. Permafrost in Svalbard: a review of research history, climatic background and engineering challenges. *Polar Research*, 2003, vol. 22 (2), pp. 191-215.
2. Втюрин Б.И. Подземные льды Шпицбергена // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения, 1989. № 65. С. 69-75.
3. Втюрин Б.И. Криогенное строение рыхлых отложений Шпицбергена // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения, 1990. № 70. С. 43-49.
4. Geologien på Svalbard (2007). S. Ellevold, W. Dallmann, D. Blomeier. Norge, Tromsø: Norsk Polarinstitutt, Polarmiljøsenteret. ISBN: 978-82-7666-239-9. (Норв.)
5. Кротков В.Е., Письменюк А.А., Кизяков А.И. Территориальная дифференциация проявления криогенные процессы на Земле Норденшельда (о. Западный Шпицберген) // Рел. и четв. обр. Аркт., Субарк. и Сев.-Зап. России. 2019. Вып. 6. С. 66-70. URL: <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2019-10611>
6. Осокин Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р. и др. Климатические изменения и возможная динамика многолетнемёрзлых грунтов на архипелаге Шпицберген // Лёд и Снег, 2012. № 2 (118). С. 115-120.
7. Schirrmeister L., Siegert C., Strauß J. (2012). Permafrost ein sensibles Klimaphänomen – Begriffe, Klassifikationen und Zusammenhänge. *Polarforschung*, Vol. 81 (1), pp. 3-10. (Нем.)
8. Таргульян В.О., Куликов А.В. Основные черты почв острова Западный Шпицберген // Биологические проблемы Севера. Тез. X Всесоюз. симпоз. Ч. 1. Магадан, 1983. С. 272-273.
9. Добровольский В.В. Геохимия почв Шпицбергена // Почвоведение, 1990. № 2. С. 5-20.
10. Перееверзев В.Н., Литвинова Т.И. Почвы морских террас и коренных склонов на побережьях фьордов острова Западный Шпицберген // Почвоведение, 2010. № 3. С. 259-269.
11. Кряучюнас В.В., Игловский С.А., Шахова Е.В., Малков А.В. Тяжёлые металлы в арктических почвах западного побережья архипелага Шпицберген // Экология человека, 2014. № 9. С. 8-13.
12. Алексеев И.И., Абакумов Е.В. Таксономическое и морфологическое разнообразие почв окрестностей залива Гренфьорд (архипелаг Шпицберген) // Самар. Лука: пробл. регионал. и глобал. экологии, 2016. Т. 25. № 4. С. 156-161.
13. Кашулина Г.М., Литвинова Т.И., Коробейникова Н.М. Почвы юго-западного побережья острова Западный Шпицберген // Тр. Кол. НЦ РАН. Прикл. экология Севера, 2021. Вып. 9. Т. 12. № 6. С. 271-275. URL: <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.040>
14. Walker D.A., Raynolds M.K., Daniels F.J.A. et al. The Circumpolar Arctic Vegetation Map // *J. Veg. Sci.*, 2005, vol. 16, No. 3, pp. 267-282. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02365.x>
15. Szymański W., Skiba S., Wojtun B. (2013). Distribution, genesis, and properties of Arctic soils: a case study from the Fuglebekken catchment, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, Vol. 34, No. 3, pp. 289-304. URL: <https://doi.org/10.2478/popore-2013-0017>
16. van der Meij W.M., Temme A.J.A.M., de Kleijn C.M.F.J.J. et al. (2016). Arctic soil

development on a series of marine terraces on central Spitsbergen, Svalbard: a combined geochronology, fieldwork and modelling approach. *SOIL*, Vol. 2, pp. 221-240.

URL: <https://doi.org/10.5194/soil-2-221-2016>

17. Bartos A., Szymański W., Gus-Stolarczyk M. (2023). Morphology and properties of permafrost-affected soils under different tundra vegetation in central Spitsbergen. *Polish Polar Research*, Vol. 44, No. 1, pp. 1-20. URL: <https://doi.org/10.24425/prr.2022.143317>

18. Jones E.L., Hodson A.J., Thornton S.F., Redeker K.R., Rogers J., Wynn P.M., Dixon T.J., Bottrell S.H., O'Neill H.B. (2020). Biogeochemical Processes in the Active Layer and Permafrost of a High Arctic Fjord Valley. *Front. Earth Sci.*, Vol. 8:342.

URL: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00342>

19. Шляхов С.А. Классификация почв морских побережий. Владивосток, 1996. 35 с.

20. Черноусенко Г.И., Орешникова Н.В., Украинцева Н.Г. Засоление почв побережья северных и восточных морей России // *Почвоведение*, 2001. № 10. С. 1192-1206.

21. Губин С.В., Лупачев А.В., Ходжаева А.К. Почвы аккумулятивных берегов морей восточного сектора Российской Арктики. *Почвоведение*, 2022. № 1. С. 1-8.

URL: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22010051>

22. Lupachev A.V., Gubin S.V. The soil-cryogenic complex: Evidence of late Pleistocene-Holocene coevolution of permafrost and cryosols at the Kolyma Lowland. *Permafrost and Periglac. Process.*, 2023. Pp. 1-14. URL: <https://doi.org/10.1002/ppp.2191>

23. Шур Ю.Л. Верхний горизонт толщи мёрзлых пород и термокарст. Новосибирск: Изд-во АН СССР. Сиб. отд-ние, 1988. 214 с.

24. Андреева Е.С., Липовицкая И.Н., Андреев С.С. Современные особенности погодно-климатического режима острова Западный Шпицберген и их вклад в рассеивание антропогенных примесей // *Общество. Среда. Развитие*, 2019. № 2. С. 68-72.

25. Лаврентьев И.И., Кутузов С.С., Глазовский А.Ф. и др. Толщина снежного покрова на леднике Восточный Грёнфьорд (Шпицберген) по данным радарных измерений и стандартных снегомерных съёмок // *Лёд и Снег*, 2018. Т. 58. № 1. С. 5-20.

URL: <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-1-5-20>

26. Tolgensbakk, L., Sørbel, J., Høgvard K., (2000). Adventdalen, Geomorphological and Quaternary Geological map, Svalbard 1:100 000, Spitsbergen sheet C9Q. Norsk Polarinstitut Temakart rr. 32.

27. Шарин В.В., Гусев Е.А., Зыков Е.А. Карта четвертичных образований архипелага Шпицберген масштаба 1:1000 000 // Рел. и четв. образ. Аркт., Субаркт. и Сев.-Зап. России, 2022. Вып. 9. С. 291-295. URL: <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2022-9-291-295>

28. Bondrevik S., Mangerud J, Ronnert L. et al. (1995). Postglacial sea-level history of Edgeoya and Barentsoya, eastern Svalbard. *Polar Res.*, Vol. 14(2), pp. 153-180.

29. Geoscience Atlas of Svalbard (2015). Ed. W.K. Dallmann. Norway, Tromsø: Norsk Polarinstitutt (Norge Polar Institute), Report Series No. 148.

30. Терехов А.В. Изменчивость баланса массы ледников района Баренцбурга (архипелаг Шпицберген) в начале 21-го века / Дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: Аркт. и Антаркт. научн.-исслед. ин-т, 2024. 121 с.

31. Landvik J., Mangerud J., Salvigsen O. (1988). Glacial history and permafrost in the Svalbard area. V Intern. on Permafrost. Trondheim, Norway, pp. 194-198.

32. Оледенение Шпицбергена (Свальбарда). М.: Наука, 1975. 276 с.

33. Brown, J., Ferrians Jr., Heginbottom O.J. et al. (1997). Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions. US Geological Survey Reston.

34. Etzemüller, B., Schuler, T.V., Isaksen, K., Christiansen, H.H., Farbrot, H., Benestad, R. (2011). Modeling the temperature evolution of Svalbard permafrost during the 20th and 21st century. *Cryosphere*, Vol. 5, pp. 67-79. URL: <https://doi.org/10.5194/tc-5-67-2011>

35. Harris C., Kern-Luetsch M., Christiansen H.H. et al. (2011). The Role of Interannual Climate Variability in Controlling Solifluction Processes, Endalen, Svalbard. *Perm. Periglac. Proc.*, Vol. 22(3), pp. 239-253. URL: <https://doi.org/10.1002/ppp.727>

36. Romanovsky, V.E., Smith, S.L., Christiansen, H.H. (2010). Permafrost thermal state in the polar Northern Hemisphere during the international polar year 2007–2009: a synthesis. *Perm. Periglac. Proc.*, Vol. 21, pp. 106-116.

37. Демидов Н.Э., Караевская Е.С., Веркулич С.Р., Никулина А.Л., Саватюгин Л.М. Первые результаты мерзлотных наблюдений на криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ) // Проблемы Арктики и Антарктики, 2016. №4 (110). С. 67-79.

38. База данных международной программы циркумполярного мониторинга активного слоя (CALM), данные о результатах измерений на опытных площадках в северном полушарии [Электронный ресурс]. URL: <https://www2.gwu.edu/~calm/data/north.htm> (дата обращения 21.09.2024).

39. A catalogue of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria. Oslo: Norsk Polarinstitutt, 1996.

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

41. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964.

42. Богданова М.Д., Гаврилова И.П., Герасимова М.И. Элементарные ландшафты как объекты ландшафтно-геохимического картографирования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География, 2012. № 1. С. 23-28.

43. Hacquebord L. (2001). Three centuries of whaling and walrus hunting in Svalbard and its impact on the Arctic ecosystem. *Environment and History*, Vol. 7, No. 2, "Beyond Local, Natural Ecosystems" Sp. Iss. Pp. 169-185. URL: <https://doi.org/10.3197/096734001129342441>

44. Grønfjord (Green Harbour): Finneset. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.spitsbergen-svalbard.com/photos-panoramas-videos-and-webcams/spitsbergen-panoramas/finneset.html> (дата обращения 04.10.2024).

45. Мавлюдов Б.Р., Кудинов А.В. Изменение ледника Альдегонда с начала XX века // Изв. Кол. НЦ РАН, 2018. № 3 (10). С. 152-162. URL: <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.3.152-164>

46. Кряучюнас В.В., Игловский С.А., Любас А.А. и др. Новые данные по палеогеографии восточного побережья залива Грён-Фьорд (остров Западный Шпицберген) на основании изучения голоценовых отложений на мысе Финнисет с применением изотопно-геохимических методов // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов, 2020. Т. 331. № 1. С. 171-183. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/1/2458>

47. Rasmussen C.F., Christiansen H.H., Buylaert J.P. et al. (2023). High-resolution OSL dating of loess in Adventdalen, Svalbard: Late Holocene dust activity and permafrost development. *Quatern. Sci. Rev.*, 310:108137. URL: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108137>

48. Rouyet L., Laukens T.R., Christiansen H.H. et al. (2019). Seasonal dynamics of a permafrost landscape, Adventdalen, Svalbard, investigated by InSAR. *Rem. Sens. of Environ.* 231:111236. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.11123>

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования в данной работе является изучение почвенно-геоморфологического строения, физико-химических свойств почв и природных вод западного Шпицбергена.

Методология исследования основана на лабораторных методах химического анализа почв и проб воды, а также полевых методах почвенных разрезов на ключевых участках с описанием почв по полевому определителю. Измерения температуры почв производились шагом в 10 см с помощью автоматического щупового термометра. Отбор почвенных образцов проводился по горизонтам. Исследованы физико-химические параметры природных вод различного происхождения в 26 точках.

Актуальность. Криогенные почвы и подстилающие их верхние горизонты многолетнемерзлых пород являются важнейшим элементом функционирования полярных биомов в районах с близким залеганием многолетнемёрзлых пород. Строение, свойства и функционирование почвенного покрова и мерзлотная обстановка во многом определяют геохимические особенности полярных ландшафтов. Многолетнемерзлые породы Шпицбергена распространены не только в высокогорьях, но и на низменных прибрежных участках, в наибольшей степени занятых растительностью и подверженных антропогенному воздействию, они там занимают до 70% площади внеледниковых пространств. Современная динамика развития криолитозоны в регионе, прежде всего – увеличение мощности деятельного слоя на фоне повышения среднегодовых температур воздуха, может в значительной мере отразиться на почвах прибрежно-морских криогенных экосистем Шпицбергена.

В связи с этим, актуальным является изучение почвенно-геоморфологического строения и физико-химических свойств почв и природных вод прибрежно-морских криогенных ландшафтов западного Шпицбергена.

Объектами исследования являлись два ключевых участка – побережье залива Грён-Фьорд в районе п. Баренцбург и побережье бухты Колсбей в заливе Ис-Фьорд вблизи одноимённой полярной станции. На приморских низменностях берегов залива Грён-Фьорд в различных ландшафтно-геоморфологических и геокриологических условиях было заложено 12 почвенных разрезов, в районе п/с Колсбей – 4 разреза.

Научная новизна заключается в описании геохимических особенностей ландшафтов, почв и природных вод западного Шпицбергена.

Стиль статьи - научный, соответствует установленным требованиям журнала. Структура статьи включает в себя введение, объекты и методы исследований, результаты и обсуждение, заключение, библиографию. Объем текстовой части статьи соответствует требованиям журнала. В целом, содержание научной статьи раскрывает ее тему, выводы доказательны и обоснованы. Текст написан научным языком, однако есть небольшие замечания по написанию слов. Например в названии статьи слова «геоморфологическое» и «западного» следует писать со строчных букв, а не с заглавных.

Библиография статьи слишком обширная и включает в себя 48 источников, 22 из которых на иностранном языке. Некоторые источники были опубликованы более 40 лет назад, что нарушает современные требования рецензируемых журналов по использованию литературных источников. Несколько источников оформлены с нарушением ГОСТа, поэтому автору необходимо внести корректизы.

Выводы в статье достаточной степени аргументированы и обоснованы.

Автором установлено, что развитый в настоящее время криогенный микрорельеф в весьма малой степени соответствует текущим климатическим условиям и относительно слабо поддерживается современными криогенными процессами. Роль морских вод в формировании современных физико-химических свойств почв является ведущей на

нижних уровнях мезорельефа и практически не проявляется в свойствах почв на высоких речных и морских террасах. В почвенно- и ландшафтно-геохимических катенах исследованных ключевых участков на западном Шпицбергене, наиболее вероятно обнаружение восстановительных латеральных геохимических барьеров, которые развиваются из-за резкого падения значений Eh почв на границах между высокими и низкими поймами.

Научная статья имеет важную практическую значимость, так как результаты проведенных исследований могут представлять повышенный интерес для будущих эколого-геохимических исследований на западном Шпицбергене.

Рецензируемая статья несомненно будет интересна и полезна почвоведам, грунтоведам и мерзлотоведам, а также ученым и аспирантам данных научных направлений.

Данная статья рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после доработки.