

УДК 551.345:551.435.522:551.583(528+ 550.8)

DOI 10.26110/ARCTIC.2019.102.1.008

Хомутов Артем Валерьевич

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник, 625000, г. Тюмень, а/я 1230; Тюменский государственный университет, заведующий лабораторией Полярных и Субполярных геосистем сектора «Криолитогенные, биологические, энергетические и информационные ресурсы Арктики» Института экологической и сельскохозяйственной биологии (Х-БИО), akhomutov@gmail.com

Бабкин Евгений Михайлович

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, младший научный сотрудник, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, zmbabkin@gmail.com

Тихонравова Яна Витальевна

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, научный сотрудник, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, tikh-jana@yandex.ru

Хайруллин Рустам Рустамович

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, аспирант, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, rustam93-93@bk.ru

Дворников Юрий Александрович

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, научный сотрудник, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, ydvornikow@gmail.com

Бабкина Елена Алексеевна

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, младший научный сотрудник, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, ea_pereval@mail.ru

Каверин Дмитрий Александрович

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, к.г.н., старший научный сотрудник, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28, dkav@mail.ru

Губарьков Анатолий Анатольевич

Тюменский индустриальный университет, к.т.н., научный сотрудник, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, agubarkov@gmail.com

Слагода Елена Адольфовна

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, д.г.-м.н., главный научный сотрудник, 625000, г. Тюмень, а/я 1230; Тюменский государственный университет, ведущий научный сотрудник сектора «Криолитогенные, биологические, энергетические и информационные ресурсы Арктики» Института экологической и сельскохозяйственной биологии (Х-БИО), eslagoda@ikz.ru

Садуртдинов Марат Ринатович

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, к.т.н., директор, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, mr_sadurtdinov@mail.ru

Судакова Мария Сергеевна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмологии и геоакустики, к.ф.-м.н., старший преподаватель, 119234, г. Москва, Ленинские горы, 1; Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, научный сотрудник, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, m.s.sudakova@yandex.ru

Королёва Екатерина Сергеевна

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, аспирант, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, koroleva_katy@inbox.ru

Кузнецова Анна Олеговна

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, младший научный сотрудник, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, mouse132008@gmail.com

Факащук Никита Юрьевич

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, аспирант, 625000, г. Тюмень, а/я 1230, fakashuk@yandex.ru

Сощенко Дарья Денисовна

Тюменский государственный университет, студент, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6, sdasha97@mail.ru

A.V. Khomutov, E.M. Babkin, Y.V. Tikhonravova, R.R. Khairullin, Y.A. Dvornikov, E.A. Babkina, D.A. Kaverin, A.A. Gubarkov, E.A. Slagoda, M.R. Sadurtdinov, M.S. Sudakova, E.S. Koroleva, A.O. Kuznetsova, N.Y. Fakashchuk, D.D. Soshchenko

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПУР-ТАЗОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

COMPLEX STUDIES OF THE CRYOLITHOZONE OF THE NORTH-EASTERN PART OF THE PUR-TAZ INTERFLUVE

Аннотация. В 2018 году продолжены комплексные исследования криолитозоны, начатые в 2016 г. в северо-восточной части Пур-Тазовского междуречья. Проводится мониторинг глубины сезонного протаивания в различных ландшафтных условиях от дренированных водоразделов до полигональных торфяников. На одном из торфяников отслеживаются изменения рельефа за счет вытаивания полигонально-жильного льда, изучается морфология льда и криолитоологического строения вмещающих отложений. Во время полевой кампании 2018 г. заложены дополнительные площадки мониторинга глубины протаивания. Для изучения детальной пространственной дифференциации глубины протаивания и определения техногенного и естественного воздействия на участках с полигонально-жильными льдами выполнены георадиолокационные исследования. Продолжено сопоставление ботанического состава современной растительности и многолетнемерзлого торфа, изучение почв пятен-медальонов в контуре торфяника. Начаты работы по оценке дефляционного влияния на осадконакопление минеральных пород в пределах торфяника.

Abstract. Started in 2016 complex studies of the cryolithozone in northeastern part of the Pur-Taz interfluve continue in 2018. Seasonal thaw depth in different landscapes from drained watersheds to polygonal peatlands is monitored. On one of the peatlands, the relief changes due to the melting of polygonal-wedge ice are observed, the morphology of ice and the cryolithological structure of the enclosing sediments are studied. During the field campaign of 2018 additional sites for thaw depth monitoring were established. To study the detailed spatial differentiation of thaw depth and to determine technogenic and natural impacts in the areas with polygonal-wedge ice georadar survey was performed. We continued the comparison of modern vegetation botanical composition with a permafrost peat and the study of spot-medallions soil in the peatland was carried on. We carried out the first stage assessment of the deflation impact on the mineral sedimentation within the peatland.

Ключевые слова: криолитозона, Пур-Тазовское междуречье, глубина сезонного протаивания, полигонально-жильный лёд, полигональные торфяники, торфяные пятна-медальоны.

Keywords: cryolithozone, Pur-Taz interfluve, seasonal thaw depth, polygonal-wedge ice, polygonal peatlands, peat spot-medallions.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) в рамках научного проекта № 18-45-890013, а также по госзаданию, согласно Плану НИР ТюмНЦ СО РАН на 2018-2020 годы, протокол №2 от 8.12.2017 (Приоритетное направление IX.133. Программа IX.133.1. Проект IX.133.1.2: Закономерности стадийных изменений мерзлых толщ, льдов и ландшафтов арктических островов и обрамления Карского моря под воздействием климата, экзогенных и эндогенных геологических процессов; Приоритетное направление IX.135. Программа IX.135.2 Проект IX.135.2.2: Изменения в литосфере и ландшафтах криолитозоны России под влиянием климатических и техногенных факторов: глобальные, региональные и локальные составляющие пространственно-временной изменчивости). В 2016-2017 гг. полевые работы организованы при поддержке Департамента по науке и инновациям ЯНАО и НП «Российский центр освоения Арктики».

Введение

В последнее десятилетие в Арктике наблюдается активизация целого ряда опасных криогенных процессов, в том числе, на южном пределе сплошного распространения многолетнемерзлых пород в ЯНАО. В условиях наличия подземных жильных льдов отмечается активизация процессов, связанных с их вытаиванием.

Выявление изменений, происходящих в Арктических экосистемах, является целью многочисленных современных исследований. Особое место занимает круг вопросов, касающихся изменчивости состояния многолетнемерзлых пород в условиях меняющегося климата. Климатические изменения воздействуют на состояние многолетнемерзлых

пород через многослойные компоненты ландшафта. При этом возникает ряд обратных (положительных и отрицательных) связей, которые приводят к тому, что многолетнемерзлые толщи реагируют на изменения температуры воздуха не только с разной интенсивностью, но и неоднородно при сочетании определенных условий [1–6]. Изменение условий на поверхности, сопровождающее потепление или похолодание, может сильно трансформировать направленность мерзлотных процессов, развитие или деградацию многолетнемерзлых толщ. В одних ландшафтных условиях оно будет действовать в том же направлении, что и климатический тренд, усиливая его, в других – в противоположном, ослабляя его действие [6, 7].

В районах распространения многолетнемерзлых пород (ММП) широко развит полигональный рельеф, который формируется системой морозобойных трещин с образованием полигонально-жильных льдов [8] или грунтовых жил. Климат севера Западной Сибири, начиная с 2012 г., периодически характеризуется аномальными значениями температуры воздуха, что не может не сказаться на динамике глубины сезонного протаивания и криогенных процессах [9-11]. Теплый сезон 2016 г. был особенно жарким в северных районах Западной Сибири [12]. Поэтому изучение динамики участков с вытаивающими полигонально-жильными льдами (ПЖЛ) является актуальным в настоящее время с позиций влияния климатических изменений. Немаловажными становятся техногенные факторы, влияющие на изменение теплового состояния ММП на исследуемых участках. Так, результаты высокочастотного георадиолокационного зондирования на Европейском Севере [13] показали, что строительство и эксплуатация насыпной дороги с твердым цементно-бетонным покрытием на бугристых болотах юга криолитозоны способствует значительному опусканию кровли ММП до 8 м, а утепляющее влияние дороги проявляется в полосе до 50 м.

Неоднозначность и сложность реакции криолитозоны и криогенных процессов на климатические изменения [1], особенно в сочетании с техногенным влиянием, определяют необходимость подробного изучения механизмов наблюдаемых явлений и анализ факторов, определяющих их развитие.

Изменение поверхности торфяников с ПЖЛ определяется в основном процессами термокарста и термоэрозии.

Отсутствует единый для криолитозоны тренд реакции термокарстовых форм на современное потепление климата. Выявленные изменения площади термокарстовых озер связаны с региональными и местными ландшафтными и климатическими факторами [14].

Активизация термоэрозии, определяемой как процесс размыва поверхностных отложений за счет теплового и механического воздействия водных потоков [15-17 и др.] и развитие эрозионной сети в криолитозоне, как правило, происходит по полигональной решетке, поскольку понижения с ПЖЛ представляют собой естественные каналы стока с льдистым дном.

Взаимосвязь развития ландшафтов, динамики растительного покрова и криолитологического строения рассматривалась с начала XX века. Выявлено, что торф в своем строении и ботаническом составе несет информацию о воздействии и динамике окружающей среды [18], что позволяет использовать его для детальных реконструкций палеогеографических условий. Морфологические характеристики подземных льдов, в свою очередь, отражают изменения геокриологических и ландшафтных условий, что проявляется в макро- и микростроении льда [19-21]. Это позволяет использовать структурно-текстурные особенности льда в качестве генетического индикатора.

Обозначенные на сегодняшний день научные проблемы, позволяют сформулировать ряд задач. В связи с этим с 2016 г. проводятся комплексные исследования криолитозоны северо-восточной части Пур-Тазовского междуречья.

Район исследования, объекты и методы исследования

Районом работ является довольно обширная территория северо-восточной части Пур-Тазовского междуречья протянувшаяся на 35 км на юг от пос. Тазовский (рис. 1). Исследованиями разной степени детальности охвачены участки, прилегающие к дороге Тазовский-Новозаполярный и ответвлению к с. Газ-Сале. Наблюдения проводятся как в естественных природных условиях, так и при различной степени антропогенного влияния на природные объекты.

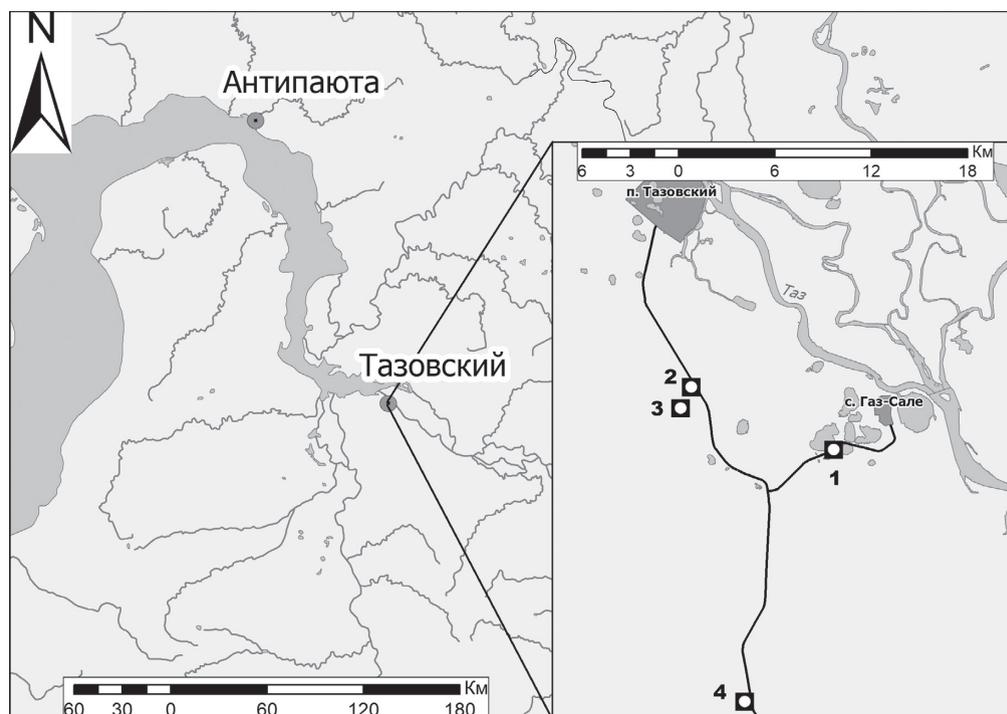


Рис. 1. Местоположение района работ

Состав работ: измерение глубины сезонного протаивания – участки 1 и 2 (с 2016 г.), 3 и 4 (с 2018 г.); измерение температуры пород – участок 2; изучение морфологии ПЖЛ и криолитологического разреза вмещающих отложений – участок 1; изменение рельефа в результате вытаивания ПЖЛ – участок 1; мониторинг отступления торфяного берега озера – участок 4; георадиолокационные исследования в 2018 г. – участки 1–4; изучение дефляционного влияния насыпи автодороги – участок 1; изучение торфяных пятен-медальонов – участок 4; изучение ботанического состава современного растительного покрова и многолетнемерзлого торфа – участок 1.

Для района характерен суровый климат со среднегодовой температурой воздуха $-9,3^{\circ}\text{C}$, в зимний период характерны обильные снегопады с метелями и оттепелями, сменяющимися периоды низких температур. Среднегодовое количество осадков составляет около 400 мм, при этом большая их часть (250–300 мм) выпадает в теплый период, снежный покров формируется в первой декаде октября, сход снега завершается в конце мая – начале июня [22]. В период наблюдений 2016–2018 гг. среднегодовая температура воздуха составила $-5,7^{\circ}\text{C}$, по данным метеостанции Тазовский [23].

Согласно схеме регионального криолитологического районирования Западно-Сибирской плиты, район работ относится к Усть-Пур-Тазовской области Ныдинско-Тазовской подзоны Приполярной зоны Континентальной криолитологической провинции. Для данной области характерна достаточно плоская, слабоборасчлененная поверхность с сильной заболоченностью и заозеренностью с широко развитыми плоско- и выпуклобугристыми торфяниками [24].

По схеме регионального районирования Западно-Сибирской плиты по распространению и среднегодовым температурам многолетнемерзлых и талых пород район исследования относится к Пур-Тазовской северной области Харасавэй-Новоуренгойской подзоны Заполярной зоны Континентальной провинции. Харасавэй-Новоуренгойская подзона отличается практически сплошным развитием ММП с достаточно низкими температурами, особенно характерными для участков развития торфяников [24].

С 2016 г. в районе исследований проводится мониторинг глубины сезонного протаивания в различных ландшафтных условиях от относительно дренированных водораздельных поверхностей до массивов торфяников с различными условиями увлажнения. Торфяники представляют большой интерес в связи с тем, что они наиболее стабильны с позиций температурного состояния мерзлоты, что позволяет корректно сравнивать данные мониторинга разных торфяников криолитозоны Западной Сибири. А наличие ПЖЛ обуславливает их острую реакцию на любые внешние воздействия, в том числе техногенные. На одном из таких остро реагирующих участков торфяника в непосредственной близости от насыпи автодороги проводится

мониторинг изменения рельефа вследствие вытаивания ледяных жил, изучение морфологии ПЖЛ и криолитологического строения вмещающих отложений во вскрытых разрезах. С 2016 г. проводится тахеометрическая съемка рельефа, предварительные результаты опубликованы в [25], с 2017 г. проводится мониторинг поверхности с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Так как местами торфяные массивы подступают к берегам озёр, на одном из таких участков разрушающегося торфяного берега проводится мониторинг скорости его отступления. В 2018 г. для повышения точности измерений установлена закрепленная на местности в относительных координатах сеть в виде профилей из металлических реперов, отходящих перпендикулярно от отступающего берега. В 2017 г. проведено детальное описание ботанического состава современного растительного покрова торфяников, а также отбор проб многолетнемерзлого торфа для определения его ботанического состава и возраста.

Во время полевой кампании 2018 г. заложены новые площадки мониторинга глубины сезонного протаивания: 1) в озерном понижении в аналогичных торфянику с вытаивающим ПЖЛ вблизи автодороги условиях, но без техногенного воздействия; 2) на участке, примыкающем к отступающему берегу озера.

Для изучения детальной пространственной изменчивости глубины протаивания и определения техногенного (автодорога) и естественного (озера) тепляющего воздействия на участках с ПЖЛ выполнены георадиолокационные исследования. Георадиолокационная съёмка проводилась по методике непрерывного профилирования. Использовался георадар «Zond-12e» с антенной 300 МГц (Radar System, Inc, Рига, Латвия). Съёмка выполнена по 8 профилям общей протяженностью 900 метров.

Для оценки дефляционного влияния насыпи автодороги на осадконакопление в пределах изучаемого торфяника было проведено опробование верхнего торфяно-растительного горизонта по специальным профилям на разном удалении от насыпи.

Было проведено изучение криолитологического разреза многолетнемерзлого горизонта торфа с ледяной жилой, с отбором монолитов естественного сложения. В пределах торфяника выявлены пятна-медальоны, формирующиеся в массе органогенных горизонтов, перекрывающие современную растительность. Отобраны дополнительные пробы для определения ботанического состава и возраста торфа.

Результаты

Глубина сезонного протаивания измеряется с 2016 г. на участках 1 и 2 (табл. 1, рис. 1). Динамика глубины протаивания во времени главным образом, определяется летней температурой воздуха, а также сочетанием этого фактора с осадками. Летнюю температуру воздуха характеризует сумма положительных температур (рассчитана до даты измерений глубины сезонного протаивания). На участке 1 наблюдается

прямая зависимость между глубиной протаивания и корнем из суммы положительных температур; наибольшие средние значения глубины протаивания на участках мониторинга наблюдаются в самый теплый летний сезон (2016 г.), наименьшие – в самый холодный

(2017 г., табл. 1, рис. 2). Для участка 2 характерна чуть менее отчетливая связь, т. к. профиль измерения глубины протаивания заложен на неоднородной поверхности (вершинная и склоновая поверхности и днище долины ручья).

Таблица 1. Глубина сезонного протаивания на участках мониторинга

Год	Сумма положительных температур, °С-суток *	Глубина сезонного протаивания, см	
		Участок 1	Участок 2
2016	1430	53,5	106
2017	1176	51,3	103
2018	1196	51,5	102

*на дату измерения глубины сезонного протаивания

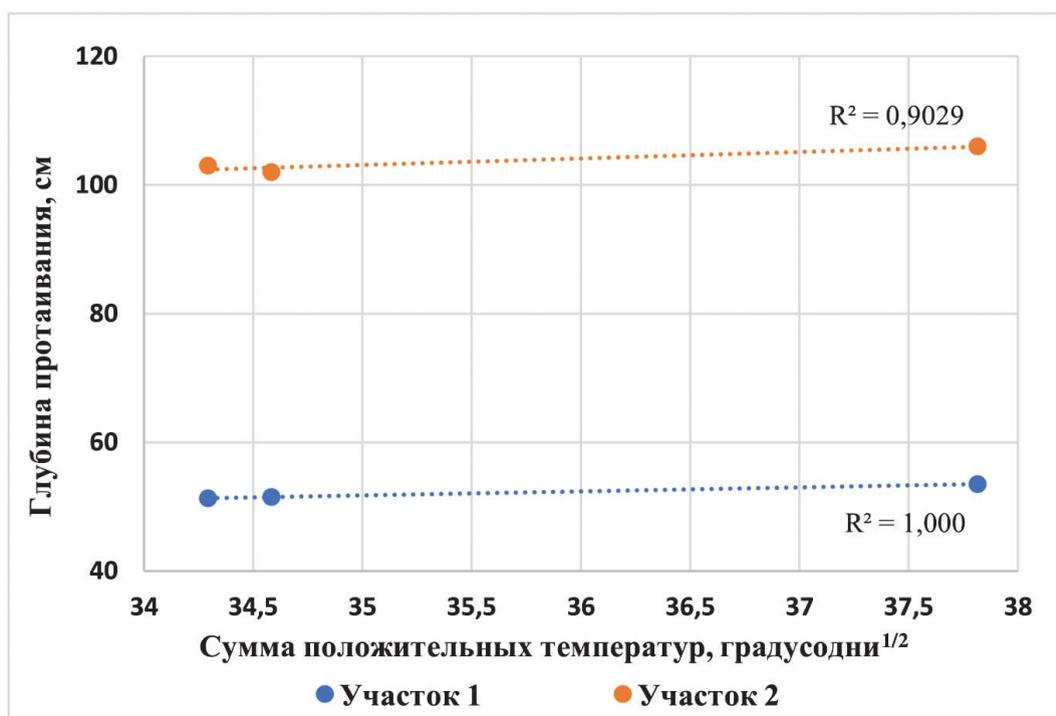


Рис. 2. Соотношение глубины сезонного протаивания с суммой положительных температур в период наблюдений с 2016 по 2018 гг.

Также значения глубины протаивания варьируются в различных ландшафтных условиях. На участке 2, находящемся на относительно дренированной водораздельной поверхности, в отличие от участка 1 (полигональный торфяник) глубина протаивания имеет более высокие средние значения и больший диапазон изменений в разные годы (см. рис. 2).

Глубина протаивания в 2018 г. на новых площадках мониторинга (участки 3 и 4), меньше глубины протаивания на участке 1 на 9 и 24% соответственно. Вытаивание ледяных жил на этих участках не происходит, лишь на участке 4 у озера наблюдается отступление торфяного берега вследствие теплового и механического воздействия водных масс.

Температура пород. Для расчета среднегодовой температуры пород и воздуха принят период полного годового хода температур, началом которого принято 1 сентября (например, для 2017 г. это период с 1 сентября 2016 г. по 31 августа 2017 г.). Используются данные термометриче-

ской скважины, заложенной в 2016 г. на дренированной водораздельной поверхности с кустарничково-мохово-лишайниковым покровом III озерно-аллювиальной равнины Пур-Тазовского междуречья южнее пос. Тазовский (участок 2, рис. 1). Среднегодовая температура пород на глубине забоя (8,7 м) составила $-2,7^{\circ}\text{C}$ в 2017 и в 2018 г. (рис. 3). На других глубинах среднегодовая температура увеличилась на $0,7-1,6^{\circ}\text{C}$ в период наблюдений 2018 г. по отношению к 2017 г. По всей видимости, это связано с тем, что в 2017 г. отмечается более низкая среднегодовая температура воздуха относительно 2018 г. ($-7,0^{\circ}\text{C}$ и $-6,5^{\circ}\text{C}$ соответственно).

В геологическом строении, по данным этой скважины, до глубины 9,0 м участвуют отложения от песков средней крупности до суглинков, встречаются линзы торфа и растительные остатки, охристые пятна до глубины 7,0 м указывают на оттаивание в период голоценового оптимума и повторное замерзание, ниже глубины 7,0 м эти пятна не наблюдаются.

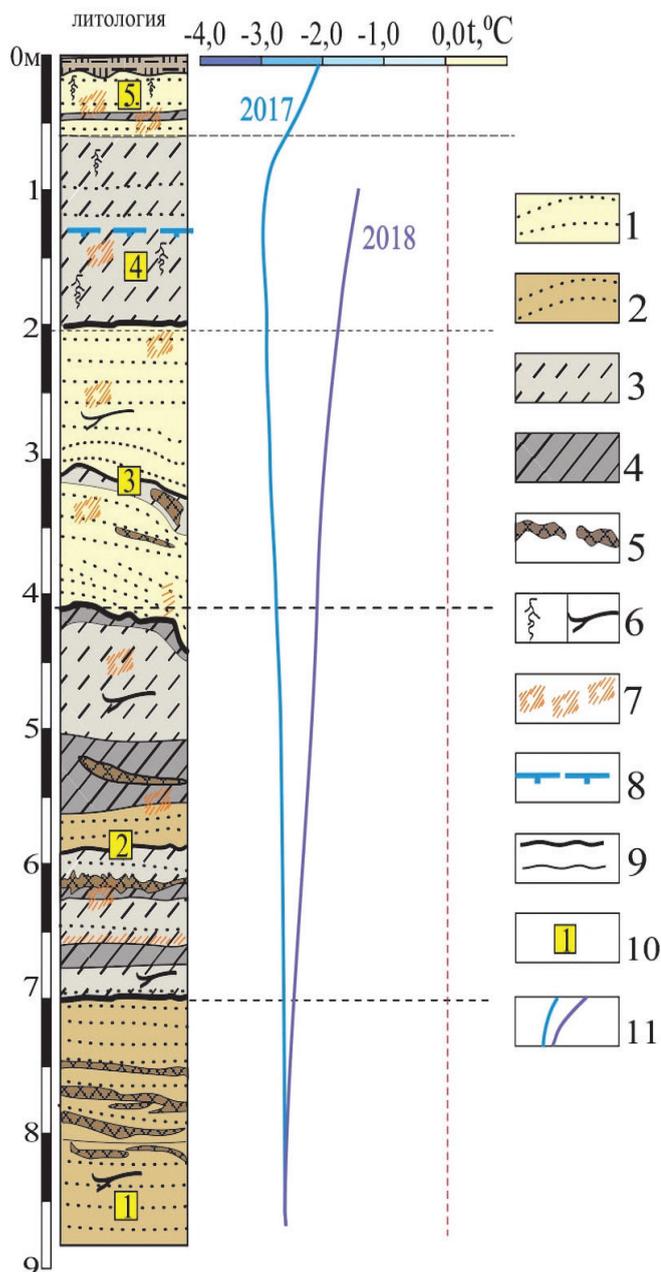


Рис. 3. Литологический разрез и температура ММП в скважине 1–16, участок 1.

1 – пески слоистые с намывом мха; 2 – пески пылеватые; 3 – супеси слоистые; 4 – суглинки; 5 – линзы торфа; 6 – корешки трав и растительные остатки; автохтонный; 7 – охристые пятна, полосы; 8 – граница ММП; 9 – границы слоёв; 10 – номер слоя; 11 – графики средней температуры пород за период 2017 и 2018 гг.

Морфология ПЖЛ и криолитологический разрез вмещающих отложений. Изучено строение и преобразование полигональных торфяников и ледяных жил в хасыреях Пур-Тазовского междуречья. В верхней части ледяных жил выявлены многочисленные новообразования льда, меняющие их морфологию и строение, а также увеличивающие размеры жил в кровле, как в высоту, так и в ширину (рис. 4).



Рис. 4. ПЖЛ с новообразованиями льда в многолетнемерзлом торфянике, участок 1.

В шлифах льда в поляризационном свете изучены структурно-текстурные особенности [19, 26] разных частей полигонально-жильного льда и установлены сегрегационный и термокарстово-полостной типы льда (рис. 5).

Установлена перестройка криогенного строения и увеличение льдистости верхней части многолетнемерзлых полигональных торфяников на фоне повышения летних температур воздуха.

Изменение рельефа торфяника в результате вытаивания ПЖЛ. Сравнение цифровых моделей рельефа (ЦМР), построенных на основе тахеометрических съемок рельефа торфяника участка 1 в 2016–2017 гг., показал, что за год полигональные канавы стали глубже на 16–87 см [25].

В 2018 г. повторена тахеометрическая съемка, площадь которой охватила все участки, где была выполнена съемка в 2016–2017 гг., продолжен мониторинг поверхности торфяника с использованием БПЛА, а также привлечены материалы дистанционного зондирования Земли из космоса. В целом для 2018 г. также характерно дальнейшее уменьшение площади всех исследуемых торфяных полигонов, величина которого варьировалась от 1,5 до 15,5 м², что соответствует 0,7–15,8% от площади каждого полигона.

Мониторинг отступления торфяных берегов озёр. Из 3-х исследуемых участков торфяников (1, 3, 4) заметное отступление берегов примыкающих озёр наблюдается только на участке 4. Как показал анализ материалов дистанционного зондирования (космоснимки Quickbird-2 от 02.09.2005 г. и WorldView-3 от 18.07.2017), а также ортофотоплана по данным БПЛА- и тахеометрической съемки в начале сентября 2018 г., 36 из 54 вдоль береговых торфяных полигонов проявили какую-либо динамику (рис. 6а). Поскольку разрешение снимков различается (0,5 м² у спутниковых данных и 0,05 м² у ортофотоплана), возможно, имеются некоторые неточности. По ортофотоплану прибрежной границей полигонов выступают уже образовавшиеся трещины, которые разделяют свисающие блоки торфа от основного полигона. По спутниковым снимкам таких мелких деталей не заметно, поэтому принято, что на дату космоснимков трещин не существовало.

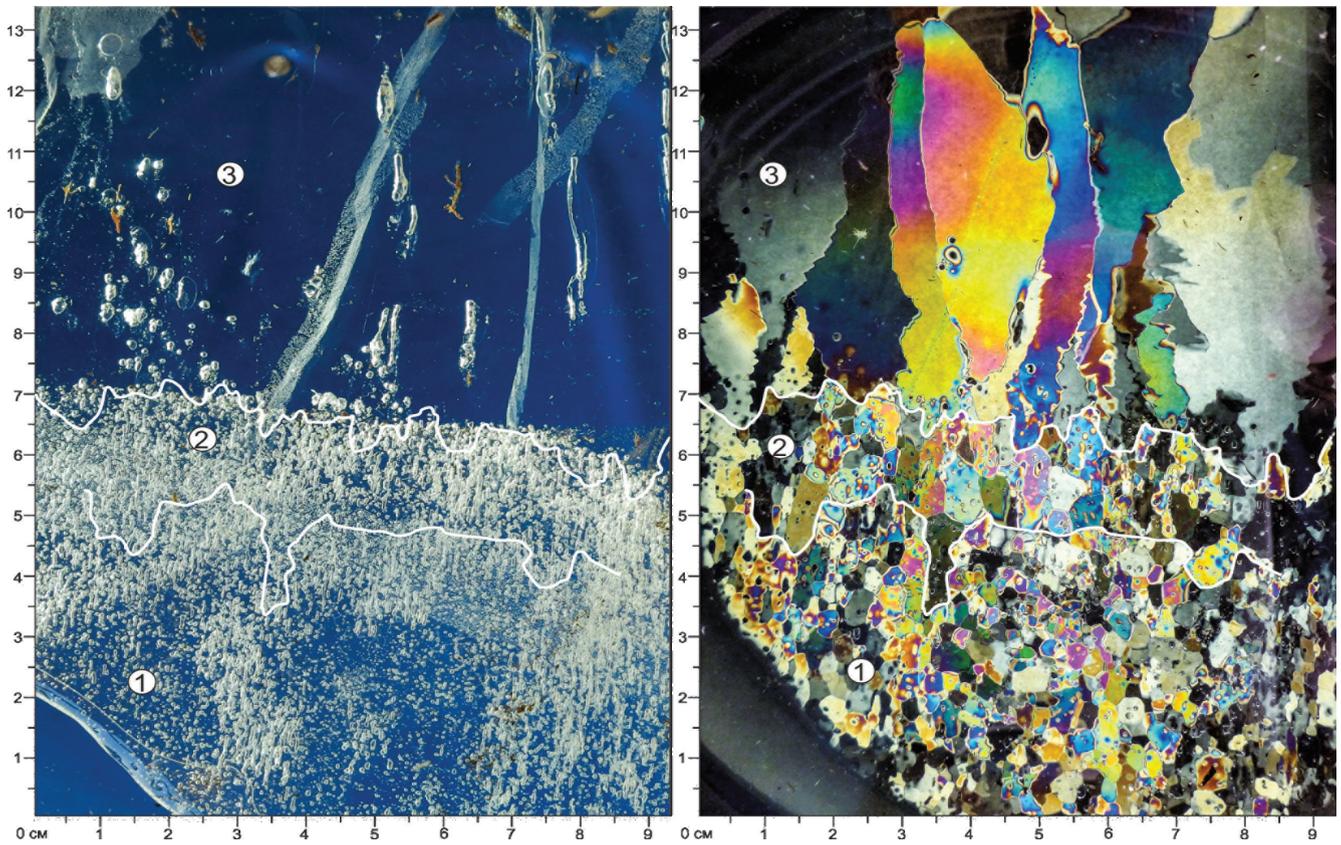
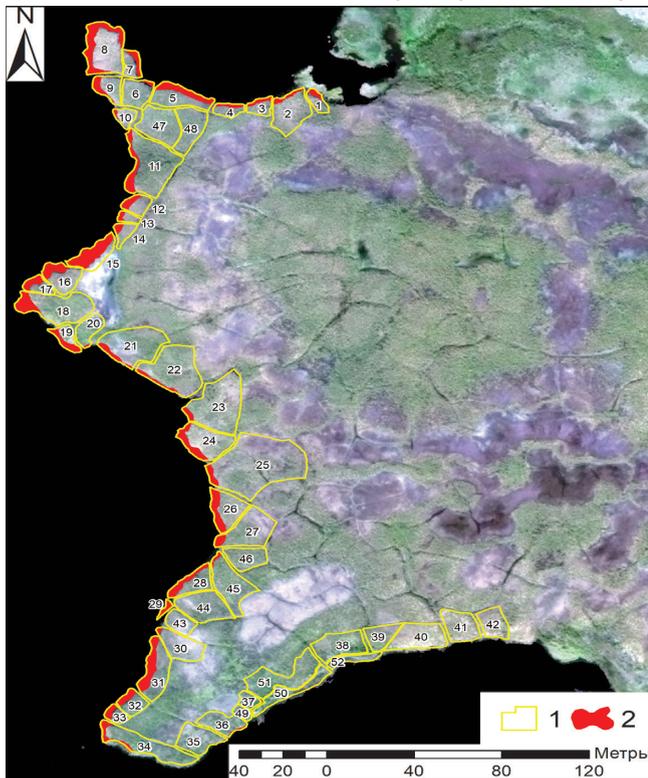
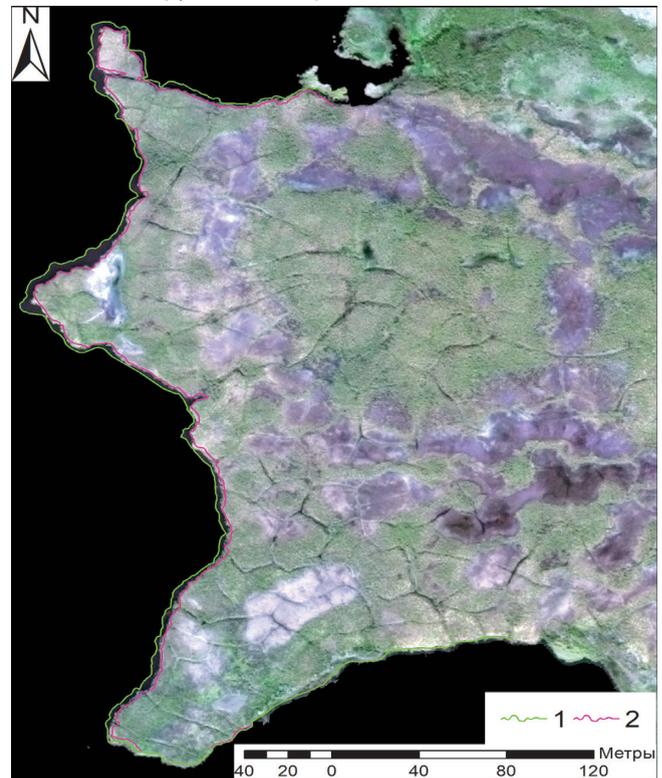


Рис. 5. Текстура и структура льда в кровле жилы на контакте с крупным шлиром льда
 1 – основной массив льда жилы из перекристаллизованных элементарных жилок;
 2 – перекристаллизация льда в зоне контакта жилы и шлира льда;
 3 – инфильтрационно-сегрегационный лёд крупного шлира



(а, 1 – контуры полигонов по сост. на 02.09.2005 г.,
 2 – отступившая площадь полигонов по сост. на 09.09.2018 г.)



(б, 1 – по сост. на 02.09.2005 г.,
 2 – по сост. на 09.09.2018 г.)

Рис. 6. Отступление торфяных полигонов, положение бровок берегового уступа
 В качестве подложки использован космоснимок WorldView-3 от 18.07.2017 г.

Наибольшими изменениями в абсолютном выражении характеризуются полигоны 8, 15 и 31 (уменьшение площади на 192, 143 и 115 м²), а в относительном – полигоны 15 и 19 (уменьшение на 68 и 49%). Полигон 29 площадью 24 м² полностью перестал существовать.

На наиболее выдающемся в озеро участке протяжённостью 690 м за период 2005-2018 площадь отступления берега составила 2115 м². Эта цифра включает в себя площадь, и разрушающихся полигонов и протаявших межполигональных понижений, на рис. 6б – поверхность, ограниченная линиями бровки за соответствующие годы. Отступление по полигонам изменяется в пределах от 0,5 до 9 м, а по понижениям – от 1,5 до 15 м.

Результаты георадиолокации. На рис. 7а приведена характерная для района исследований исходная радарограмма, полученная по профилю гс7 (участок 4). На всем протяжении профиля на временах 20-30 нс прослеживается ось синфазности электромагнитной волны, отраженной от кровли ММП. Идентификация этой границы произведена по данным прямых наблюдений шупом. Ниже на отдельных участках профиля (Пк15-35, 60-70, 80-100) на временах 50-75 нс прослеживаются кратные волны. Наличие кратных волн с высокой амплитудой является косвенным признаком повышения влажности [27], что подтверждается визуально.

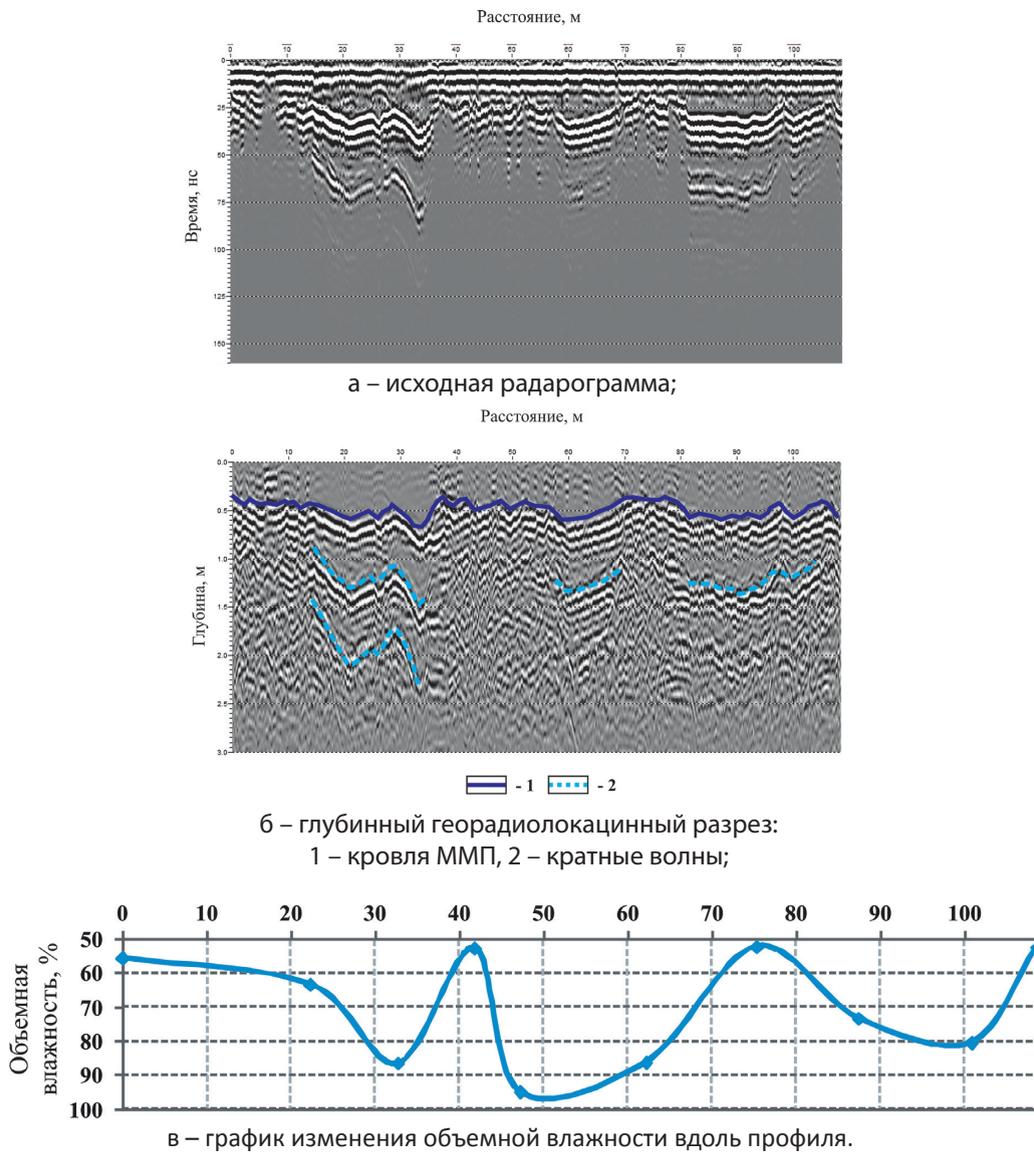


Рис. 7. Результаты георадиолокационных исследований по профилю гс7, участок 4

Для построения глубинного разреза (рис. 7б) использовались данные о глубине сезонного протаивания, полученные прямыми наблюдениями в 10 точках профиля. Глубина протаивания на этом участке в среднем составляет 50 см. Увеличение глубины протаивания до 60–70 см на отдельных участках приурочено к увеличению влажности сезонноталого слоя (СТС). По

формуле Топпа [28] рассчитана объемная влажность СТС (рис. 7в). В районе Пк 50 она достигает практически 100%, что связано с обводнением ввиду наличия ПЖЛ в разрезе.

Дефляционное влияние насыпи автодороги.

В 2018 г. на участке 1 начаты исследования эоловой аккумуляции, являющейся следствием раздувов песка

на высоких поверхностях рельефа или, по-другому, дефляции. Она развита на севере Западной Сибири и имеет естественное и антропогенное происхождение. В полевых условиях были выбраны профили и точки отбора проб для лабораторного анализа

(рис. 8). В лаборатории определено количество минеральных пород в пробах торфа. Расчетными методами установлен слой осадков в зависимости от удаленности от источника поступления материала – автомобильной дороги.

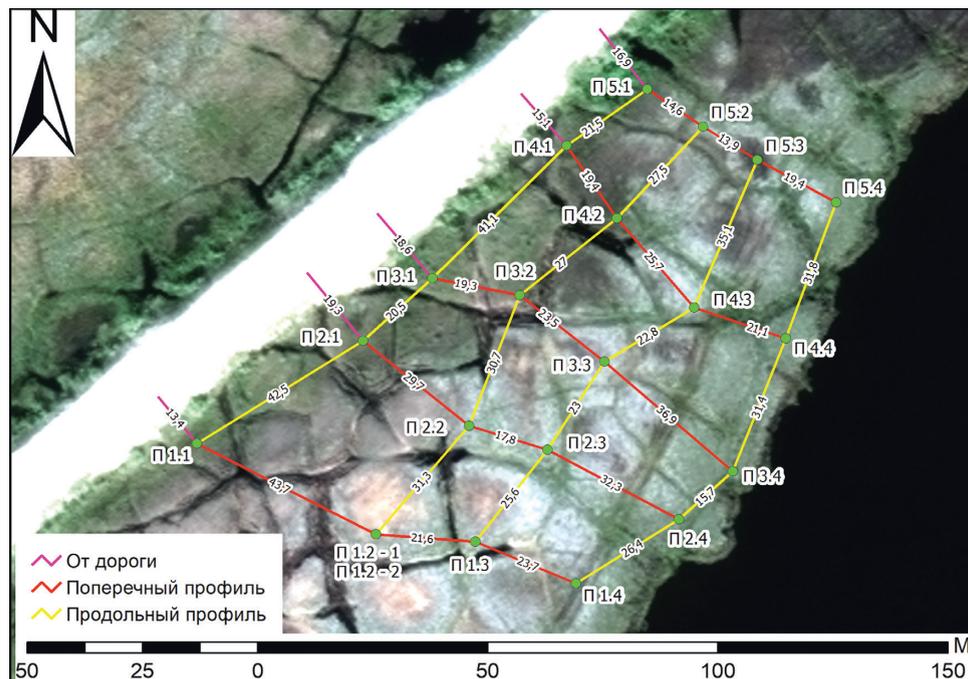


Рис. 8. Профили и точки отбора проб торфа для исследования эоловой аккумуляции минеральных пород в торфяном массиве

Торфяные пятна-медальоны. В 2016 г. на Пур-Тазовском междуречье летом отмечено осушение заболоченных склонов и хасыреев, увеличение глубины сезонного протаивания торфяников. На поверхности полигональных торфяников выявлены многочисленные оголенные пятна излившегося торфа, расположенные в понижениях между кочками на полигонах. Образование таких пятен продолжилось в 2017–2018 гг. (рис. 9а). В шурфе 2 участка 4, под торфяным пятном между кочками, вскрыт разрез торфа, в центре понижения протаявший до глубины 0,6 м, а под кочками до глубины 0,4–0,5 м. Сверху вниз выделены: слой 1 – черная органическая масса и захороненный почвенно-растительный слой из кустарничково – мохово-лишайниковой растительности; слой 2 – разложенный плотный торф коричневатого-серого (2а) и светло-коричневого цвета (2б). Светло-коричневый торф в интервале глубин 0,2–0,4 м имеет кислую реакцию – рН 4,18, потерю массы при прокаливании – 89%, т. е. содержание минеральных частиц – 11%, и влажность – 108%, относительную деформацию пучения – 0,0079 (сильнопучинистый грунт, анализ выполнен ООО «ТюменьПромИзыскания») [29]; слой 3 – коричневатый-черный рыхлый влажный торф с волнистой слоистостью деформированной пучением (~0,1 м), который состоит из неразложившихся мхов, кустарничков, и нарушен внедрениями черного торфа снизу; слой 4 – торф черный неразложившийся из целых стеблей мхов с включениями целых стволиков деревьев; с глубины 0,5–0,6 м мерзлый, льдистый,

с массивной, гнездовой и корковой криотекстурой на контакте с древесными остатками.

Образование оголенных торфяных пятен связано с выбросом неразложившегося и слабо разложившегося торфа слоев 3 и 4. В разрезе инъекцию и направление перемещения разновидностей разложившегося плотного и неразложившегося рыхлого торфа подчеркивают неровные границы слоев (рис. 9б). На образование пятен-медальонов в полигональных торфяниках указывают: захоронение свежей надземной фитомассы, выпуклая форма и черная окраска рыхлой излившейся органической массы, мелкие трещинки усыхания в пятнах, отсутствие пионерных растений и следов размыва тальными водами. В шурфе был отмечен необычно резкий и сильный застойный гнилостный запах, связанный с выделением болотного газа при разложении свежего торфа слоев 3 и 4 – из оттаявшей многолетнемерзлой части разреза. На выделение и накопление парниковых газов при понижении кровли мерзлоты в результате активизации и «взрывного роста» законсервированных бактерий указывали исследования в Восточной Сибири [30]. Одной из причин образования пятен-медальонов в полигональных торфяниках хасыреев в теплые периоды года, вероятно, является накопление газов под плотным хорошо разложившимся торфом в локальных углублениях кровли ММП, рост давления в рыхлых слоях 3 и 4, сдвиг вверх и разрыв плотного торфа вышележащих слоёв, изливание водно- и газонасыщенной массы слоя 3 на поверхность.

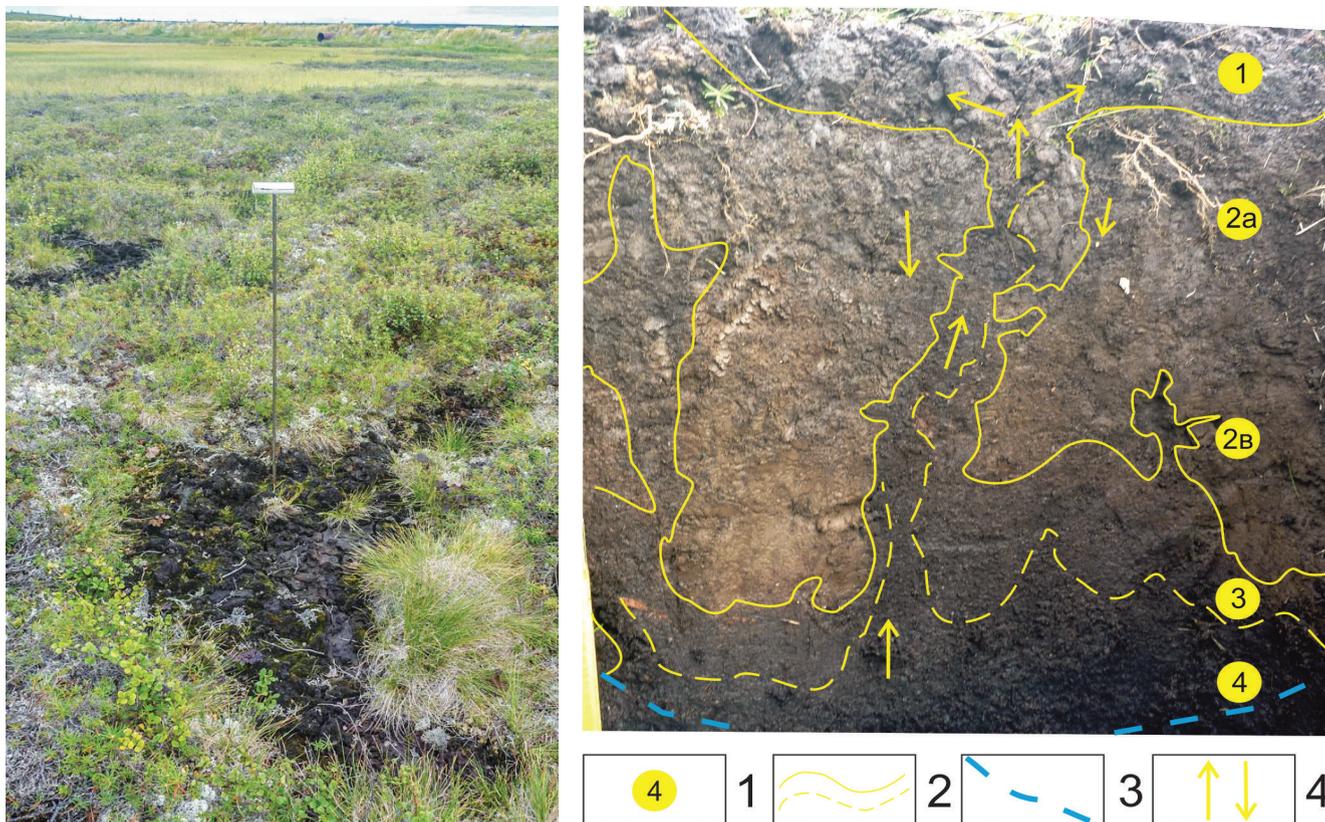


Рис. 9. Пятна-медальоны органической массы на поверхности полигонов (а) и разрезе СТС, сложенного торфом (б) на участке 4
 1 – номер слоя торфа; 2 – границы слоев торфа; 3 – нижняя граница СТС;
 4 – направления перемещения органической массы в СТС.

Ботанический состав современного растительного покрова и многолетнемерзлого торфа. На основе описания в 2017 г. ботанического состава современных растений изучена мозаичность микроландшафтов полигонального торфяника на участке 1. В пределах полигонов выделены плоские понижения с мелкими кочками в центре – ванны и выпуклые валики по краям. Между полигонами расположены плоские широкие заболоченные межполигональные понижения. Полигональные ванны (рис. 10а) покрывают пушицево-

осоково-сфагновые ассоциации, на валиках преобладают лишайники. Межполигональные понижения (Рис. 10б) обладают большим видовым разнообразием: *Sphagnum* sp., *Ledum decumbens*, *Rubus chamaemorus*, *Betula nana*, *Carex rostrata*, *Andromeda polifolia* и лишайники. Распределение растительных сообществ в микроландшафтах полигонального торфа отражает условия увлажнения и может быть использовано для дешифрирования микрорельефа поверхности по дистанционным материалам.



Рис. 10. Биотопы микроландшафтов полигонального торфяника в полигональных ваннах (а), на валиках и в межполигональных понижениях (б)

Как показали аналитические исследования образцов, в горизонте многолетнемерзлого торфа на глубине 1,4–1,5 м преобладают целые неразложившиеся остатки осоки, сфагновых мхов и пушицы, присутствует небольшое количество хвоща и березки, веточек гипновых мхов. Возраст растительных остатков около 8,0 тыс. лет.

Выводы

Глубина сезонного протаивания за 3 года наблюдений (2016–2018 гг.) в условиях полигонального торфяника (участок 1) незначительно снизилась (на 4%), при этом продолжилось активное вытаивание ПЖЛ. В 2018 г. глубина протаивания на этом участке выше на 9 и 24%, чем на торфяниках с относительно низкой или нулевой скоростью вытаивания ПЖЛ (участки 3 и 4 соответственно).

Температура пород в термометрической скважине на глубине забоя 8,7 м в 2018 г. не изменилась относительно 2017 г. и составила $-2,7^{\circ}\text{C}$, на других же глубинах выросла на $0,7\text{--}1,6^{\circ}\text{C}$, среднегодовая температура воздуха выросла с $-7,0^{\circ}\text{C}$ в 2017 г. до $-6,5^{\circ}\text{C}$ в 2018 г.

С одной стороны, увеличение льдистости торфяника делает их более уязвимыми при увеличении антропогенной нагрузки, строительстве сезонных (зимних) и постоянных автодорог. С другой стороны, новообразования льда над жилами и в торфе консервируют многолетнемерзлые торфяники, препятствуя резкому увеличению глубины сезонного протаивания в условиях климатического потепления и активизации термокарстовых процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конищев В.Н. Реакция вечной мерзлоты на потепление климата // Криосфера Земли, 2011, т. XV, №4, с. 15–18.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014.
3. Малкова Г.В., Павлов А.В., Скачков Ю.Б. Оценка устойчивости мерзлых толщ при современных изменениях климата // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 4, с. 33–36.
4. Лейбман М.О., Москаленко Н.Г., Орехов П.Т., Хомутов А.В., Гамеев И.А., Хитун О.В., Уолкер Д., Эпштейн Х. Взаимодействие криогенных и биотических компонент геосистем в криолитозоне Западной Сибири на трансекте «Ямал». Полярная криосфера и воды суши. Гл. ред. В.М. Котляков, члены редколлегии Д.А. Гиличинский, В.Г. Дмитриев, Д.С. Дроздов, В.Я. Липенков, М.Ю. Москалевский, И.А. Шикломанов – М.: Paulsen, 2011. С. 171–192.
5. Дроздов Д.С., Украинцева Н.Г., Царев А.М., Чекрыгина С.Н. Изменения температурного поля мерзлых пород и состояния геосистем на территории Уренгойского месторождения за последние 35 лет

При меньшей сумме положительных температур в 2018 г. (1302°C -суток) по сравнению с 2017 г. (1407°C -суток), продолжается активное вытаивание ПЖЛ и уменьшение площади полигонов на одном из участков исследования.

Уступание берегового уступа от 0,5 до 15 м с 2005 г. на одном из участков исследования позволяет утверждать, что в состав процессов термоабразии берегов входит вытаивание ПЖЛ. Весь комплекс процессов возникает в результате влияния только естественных факторов, включая климатические изменения. Активность процессов в естественных условиях несколько уступает активности процессов при техногенном воздействии на торфяники.

С помощью георадиолокационных исследований детально изучена изменчивость глубины протаивания, конфигурация кровли ММП и проведена оценка влажности СТС.

Исследования эоловой аккумуляции позволяют определить слой осадков минеральных пород, накапливающийся в торфяном массиве.

Установлено, что пятна-медальоны в полигональных торфяниках формируются в теплые сезоны года и не связаны с процессом сезонного промерзания.

Пятна-медальоны на поверхности и иньекции в разрезах полигональных торфяников могут служить индикатором неравномерного локального понижения кровли ММП на фоне повышения летних температур.

Состав биотопа многолетнемерзлого торфа указывает на накопление раннеголоценового торфа во влажной обстановке, приближенной к условиям в современных межполигональных понижениях.

(1974–2008) // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 1, с. 22–31.

6. Васильев А.А., Дроздов Д.С., Москаленко Н.Г. Динамика температуры многолетнемерзлых пород Западной Сибири в связи с изменениями климата // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 2, с. 10–18.

7. Корейша М.М., Втюрин Б.И., Втюрина Е.А. Подземные льды и наледи // Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М., ИГ РАН, 1997, т. 2, кн. 2, с. 9–32;

8. Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. М.: МГУ, 1967. 403 с.

9. Васильев А.А., Стрелецкая И.Д., Облогов Г.Е., Широков Р.С. Динамика субкавальной мерзлоты Карского моря в меняющихся климатических условиях // Материалы пятой конференции геокриологов России Часть 5. Региональная и историческая геокриология. Часть 6. Динамическая геокриология. Геокриологические процессы и явления. Часть 7. Литогенетическая геокриология (криолитогенез). 2016. С. 26–30.

10. Khomutov A., Leibman M., Dvornikov Yu., Gubarkov A., Mullanurov D., Khairullin R. Activation of Cryogenic Earth Flows and Formation of Thermocirques on Central Yamal as a Result of Climate Fluctuations // Advancing Culture of Living with Landslides. Proceedings of World Landslide

Forum 4, May 29 – June 2, 2017, Ljubljana, Slovenia, Eds.: K. Mikoš, V.Vilímek, Y.Yin, K.Sassa, Vol.5, Landslides in Different Environments. Springer International Publishing AG 2017. P.209–216.

11. Пономарева О.Е., Дроздов Д.С., Гравис А.Г., Бердников Н.М., Блажко А.В., Буфеев И.К., Петров Б.В. Особенности современного теплового состояния многолетней мерзлоты (по результатам мониторинга в северной тайге Западной Сибири) // Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ) Материалы Международной научно-практической конференции: в 7 томах, 2018, С. 100–102.

12. Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Самохина О.Ф. Температурные экстремумы июня и июля 2016 года // Фундаментальная и прикладная климатология, Т.2, 2016, с. 143–148.

13. Каверин Д.А., Хилько А.В., Пастухов А.В. Высокочастотное георадиолокационное зондирование почвогрунтов многолетнемерзлых бугристых болот (европейский Северо-Восток России) // Криосфера Земли, т. XXII, № 4, 2018, с. 86–95.

14. Кизяков А.И., Лейбман М.О. Рельефообразующие криогенные процессы: обзор литературы за 2010–2015 годы // Криосфера Земли, 2016, т. XX, № 4, с. 45–58.

15. Косов Б.Ф. Овражная эрозия в зоне тундры // Науч. докл. Высш. школы. Геол. –географ. науки. Москва, 1959, с. 123–131.

16. Малиновский Д. В. Размываемость мерзлых пород и методика её изучения при мерзлотно-инженерногеологических исследованиях// Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. геол.-мин. наук. М., 1980, 24 с.

17. Данько В.К. Закономерности развития термоэрозийных процессов севера Западной Сибири. // Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. геол.-мин. наук. М., ПНИИС, 1982, 28 с.

18. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М., Наука, 1977, 200 с.

19. Шумский П.А. Основы структурного ледоведения. Петрография пресного льда как метод гляциологического исследования / М.: Изд-во АН СССР, 1955, 492 с.

20. Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы. М.: Изд-во МГУ, 1993 г. 336 с.

21. Попов А.И., Розенбаум Г.Э., Тумель Н.В. Криология. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1985, 238 с.

22. Ершов Э.Д. Геокриология СССР. Западная Сибирь. М.: Недра, 1989. 454 с.

23. Расписание погоды: Архив погоды в Тазовском // <http://rp5.ru/> Архив_погоды_в_Тазовском (дата обращения: 21.01.2019).

24. Трофимов В.Т., Баду Ю.Б., Васильчук Ю.К., Кашпернюк П.И., Кудряшов В.Г, Фирсов Н.Г. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты. М.: Наука, 1987, 224 с.

25. Бабкин Е.М., Хомутов А.В., Дворников Ю.А., Хайруллин Р.Р., Бабкина Е.А. Изменение рельефа торфяника с вытаявающим полигонально-жильным льдом в северной части Пур-Тазовского междуречья // Проблемы региональной экологии, № 4, 2018, с. 115–119.

26. Рогов В.В. Основы криогенеза. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 203 с.

27. Судакова М.С., Садуртдинов М.Р., Царев А.М., Скворцов А.Г., Малкова Г.В. Возможности георадиолокации для исследования заболоченных торфяников в криолитозоне // Геология и геофизика, 2019, (в печати).

28. Topp G.C., Davis J.L., Annan A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines // Water Resource Res., 1980, vol. 16, p. 574–582.

29. ГОСТ 28622-2012 Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости.

30. Ривкина Е.М., Краев Г.Н., Кривушин К.В., Лауринвичюс К.С., Федоров-Давыдов Д.Г., Холодов А.Л., ЩербакOVA В.А., Гиличинский Д.А. Метан в вечномерзлых отложениях северо-восточного сектора Арктики // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 3, с. 23–41.