

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

ЯМАЛ – 2021



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СОВРЕМЕННЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
ТРАНСФОРМАЦИИ
КРИОСФЕРЫ
И ВОПРОСЫ
ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ
СООРУЖЕНИЙ
В АРКТИКЕ

Ноябрь 8-12

Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике / Под ред. В.П.Мельникова и М.Р. Садуртдинова. – Салехард: 2021. – 498 с.

Международная конференция «Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике» (8-12 ноября 2021 г., г. Салехард) является площадкой междисциплинарного диалога для определения краткосрочных и долгосрочных приоритетных направлений работы органов власти, науки и бизнеса, которые обеспечат качественно новый уровень деятельности предприятий и жизни населения Арктики, изучения криолитозоны. В последние годы в связи с глобальным изменением климата активизировались различные потенциально опасные геокриологические процессы. Под воздействием естественных и антропогенных факторов происходит изменение состояния верхних горизонтов криолитозоны в ряде регионов, несущая угрозу как для хозяйственной деятельности человека, так и для экологической обстановки. Каждому региону в криолитозоне необходимо активно включиться в поиск решений, позволяющих выработать механизмы адаптации к геокриологическим процессам и изменению климата. От региональных органов власти требуется оперативная реакция и принятие эффективных управленческих решений. Это станет возможным при условии, если наряду с созданием государственной системы мониторинга за состоянием «вечной мерзлоты», каждый регион начнет развивать собственную сеть геотехнического мониторинга объектов капитального строительства и инфраструктуры, выстроит долговременное сотрудничество с промышленными компаниями для обмена данными, совместного научного сопровождения разработки новых единых стандартов по изучению состояния «вечной мерзлоты» и проектированию, строительству и эксплуатации инженерных сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Конференция предусматривает создание плана первоочередных действий на двухлетний период в рамках председательства России в Арктическом Совете по созданию механизмов адаптации регионов криолитозоны к большим вызовам. В настоящий сборник вошли труды, посвященные фундаментальным и прикладным исследованиям криолитозоны, разработке новых методов, технологий, материалов для безопасного освоения и эксплуатации территорий криолитозоны.

Cryosphere Transformation and Geotechnical Safety in the Arctic / Edited by V.P. Melnikov and M.R. Sadurtdinov. - Salekhard: 2021. - 498 p.

International Conference "Cryosphere Transformation and Geotechnical Safety" (November 8-12, 2021, Salekhard) is a platform for interdisciplinary dialogue to define short and long-term priorities of the authorities, science and business, which will provide a better level of enterprise activities, life in the Arctic, and the cryolithozone studies. Recent years, due to global climate change, witnessed the intensification of various hazardous geocryological processes. As a result of natural and anthropogenic factors, there are changes in the state of the upper horizons of the cryolithozone in some regions, threatening both human economic activity and the ecological situation. Each region in the cryolithozone needs to actively engage in the search for solutions to develop mechanisms for adapting to geocryological processes and climate change. Regional authorities are required to react promptly and make effective management decisions. This will be possible if, along with the creation of a state permafrost monitoring system, each region begins to develop its own network of geotechnical monitoring of capital construction and infrastructure facilities, builds long-term cooperation with industrial companies to exchange data and provide joint scientific support for elaborating new unified standards for studying the permafrost condition and the design, construction and operation of engineering structures on permanently frozen ground. The Conference provides for the creation of a plan of priority actions for a two-year period as part of Russia's chairmanship in the Arctic Council to create mechanisms for the adaptation of cryolithozone regions to great challenges. This book of abstracts includes papers on fundamental and applied research of the cryolithozone, the development of new methods, technologies, materials for the safe development and exploitation of the cryolithozone territories.

Особенности современного состояния криогенных ландшафтов западной Сибири в зоне островного и прерывистого распространения мерзлоты

Дроздов Д.С.^{1,2,4}, Бердников Н.М.¹, Гравис А.Г.¹, Губарьков. А.А.^{1,3}, Пономарева О.Е.^{1,4},
Скворцов А.Г.¹, Устинова Е.В.^{1,2,3}, Царев А.Г.¹

¹ Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия; ds_drozdov@mail.ru

² Тюменский государственный университет, 625003, Тюмень, ул. Володарского, 6, Россия

³ Тюменский индустриальный университет, 625000, Тюмень, ул. Володарского, 38, Россия

⁴ Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе – МГРИ, 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, Россия

Реферат

Многолетнемерзлые породы (ММП) в северотаежных ландшафтах Западной Сибири в XX-XXI веках подверглись существенным изменениям. Повышение температуры ММП, вслед за климатическими изменениями, привело к сокращению площади ММП сливающегося типа и увеличению несливающегося. На этом фоне криогенные ландшафты переходят в лесные (таежные) или болотные на талых породах. Криогенные процессы ведут, преимущественно, к формированию посткриогенного рельефа в виде обширных площадных или локальных термокарстовых осадков поверхности. Изменения рельефа и увеличение глубины сезонного протаивания пород преобразовали гидрогеологические и гидрологические условия стока воды, что, в ряде ландшафтов, увеличивает темпы повышения температуры талых и мерзлых пород.

Ключевые слова: северная тайга; криогенные ландшафты; криогенные процессы.

Features of the current state of cryogenic landscapes of western Siberia in the zone of insular and intermittent permafrost distribution

Drozdov D.S.^{1,2,4}, Berdnikov N.M.¹, Gravis A.G.¹, Gubarkov A.A.^{1,3}, Ponomareva O.E.^{1,4},
Skvortsov A.G.¹, Ustinova E.V.^{1,2,3}, Tsarev A.M.¹

¹ Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS,
P/O box 1230, Tyumen, 625000, Russia; ds_drozdov@mail.ru

² Tyumen State University, 6, Volodarskogo str., Tyumen, 625003, Russia

³ Tyumen Industrial University, 38, Volodarskogo str., Tyumen, 625000, Russia

⁴ Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University – MGRI, 23, Miklukho-Maklai str., Moscow, 117997, Russia

Abstract

Permafrost in the North taiga landscapes of Western Siberia in the XX-XXI centuries underwent significant changes. The increase in the permafrost temperature, following climatic changes, led to a reduce of the permafrost area of the merging type and an increase in the non-merging type. Against this background, cryogenic landscapes turn into forest (taiga) or swamp landscapes on thawed sediments. Cryogenic processes led to formation of post-cryogenic landforms all over extensive areas or to local thermokarst depressions. The hydrogeological and hydrological conditions of water flow transform following changes in the relief and an increase in the depth of ground thawing. This increases the rate of temperature rise of thawed and frozen ground.

Key Words: northern taiga; cryogenic landscapes; cryogenic processes.

Введение

Анализ данных по метеостанциям Салехард, Надым, Тарко-Сале [<http://meteo.ru/mcd/>] показывает, что с середины 70-х гг. XX века климат северных территорий стал смягчаться. Происходит повышение среднегодовых температур воздуха, возрастает длительность периода с положительными температурами воздуха в некоторых районах увеличивается количество выпавших атмосферных осадков, как летних так и зимних, снежный покров становится более мощным. Эти изменения приводят к трансформации растительного покрова [Комплексный..., 2012] и модификации его теплоизоли-

рующей роли, к увеличению температуры мерзлых пород, могут сказаться на динамике криогенных процессов, гидрогеологических и гидрологических условиях, вызвать полную перестройку ландшафтной структуры северных территорий, поэтому важно вовремя отследить происходящие изменения и оценить их направление, темпы и возможные последствия. Важно учитывать и то, что отклик на изменения климата в различных природных зонах и ландшафтах криолитозоны неодинаков [Васильев и др., 2020].

В основу данной работы положен фактический материал, полученный в ходе геоэкологического мониторинга, выполненного на стационарах Надымский и Нумто, где

многолетнемерзлые породы имеют прерывистое, островное и редкоостровное распространение. Исследования проводятся в криогенных ландшафтах, которыми здесь остаются торфяники и бугры пучения с разделяющими их ложбинами стока, где близко к дневной поверхности залегают ММП [Медведков, 2016].

Район исследований

Район исследований охватывает верховья и среднее течение р. Надым (рис.1). Зональным типом растительности здесь является северная тайга, значительные площади заняты торфяниками и болотами. Распространение ММП изменяется от редкоостровного на юге до прерывистого на севере. Полевые исследования сконцентрированы на 2 гео-криологических стационарах: Нумто на юге и Надымский на севере (рис.1). Массивы и острова мерзлых пород приурочены к торфяникам, грядам и буграм пучения, в северной части рассматриваемого района она встречается также под ложбинами стока. Криогенные ландшафты в районе Нумто занимают менее 30 % территории, а на Надымском стационаре в пределах озерно-болотного типа местности являются доминантными и занимают около 75 % площади. Температуры ММП в подзоне редкоостровного распространения характеризуются значениями от 0,1... 0,2°C на торфяниках и до 0,4°C на буграх пучения. На севере рассматриваемой территории, на Надымском стационаре, для ММП характерны чуть более низкие температуры: на плоскобугристых торфяниках 0,2.. 0,3°C; под заболоченными ложбинами стока около 0,01 и до 1,1°C на высоком бугре пучения. Природный парк Нумто организован в 1997 г., и гео-криологические наблюдения проводятся здесь с 2017 г. Первые гео-криологические наблюдения на Надымском стационаре были выполнены в 1971-75 гг. Эти наблюдения свидетельствуют о том, что за 45 лет произошло повышение температуры ММП, увеличение глубины протаивания, изменение динамики криогенных процессов, в частности началось развитие тепловой осадки поверхности.

Методика исследований

На стационаре Нумто организована одна, на Надымском две площадки по мониторингу глубины сезонного протаивания грунтов, на которых исследования выполняются в соответствии с протоколом CALM [Brown et al., 2000]. Кроме того ведутся термометрические наблюдения в скважинах глубиной около 10 м, на Надымском стационаре до глубины 30 м. Помимо указанных исследований на стационаре Надымский фиксируются изменения растительного покрова, измеряется глубина протаивания на 7 площадках и 4 профилях, а также ежегодно измеряется высота поверхности у марок (относительно геодезического репера) для определения динамики пучения и тепловой осадки. В 2018 г. на Надымском стационаре выполнены геофизические исследования для уточнения гео-криологического строения бугров пучения и плоскобугристых торфяников. Для оценки изменения климата привлекаются данные с открытого сайта метеостанций [http://mete.ru/mcd/].

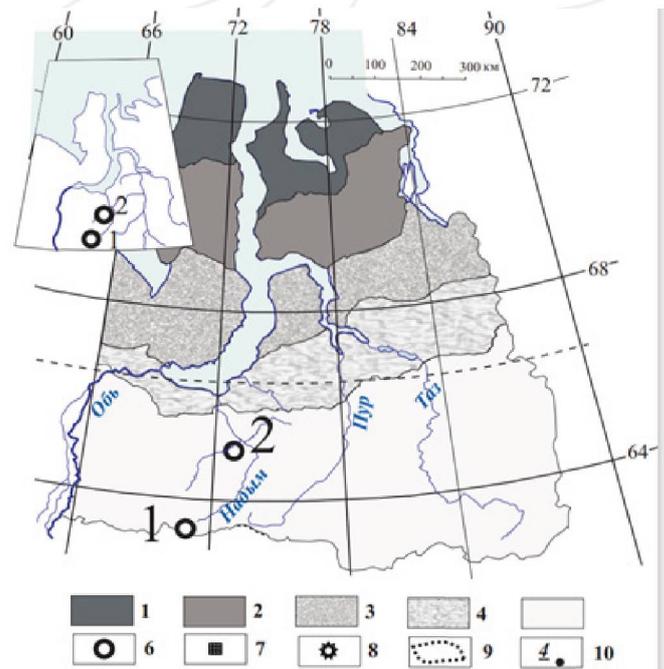


Рис. 1. Расположение района исследований
Условные обозначения. Цвета: 1 – арктическая тундра; 2 – лишайная тундра; 3 – южная тундра; 4 – лесотундра; 5 – северная тайга. Знаки: 6 – стационары

Результаты анализа метеорологических данных

Климат рассматриваемой территории характеризуется большой межгодовой изменчивостью, тем не менее можно утверждать, что с 1974 – 1975 гг. здесь наблюдается постепенный, постоянный подъем среднегодовой температуры воздуха с трендом 0,037°C в Надыме за 1961-1990 г. и трендом 0,06°C за 1991-2020 гг. Рост температуры воздуха происходил как в летнее, так и в зимнее время. Длительность периода с положительными температурами в Надыме возросла за весь период наблюдений (1961-2020 г.) на 20 дней. В Надыме с 1987 г. имеет место увеличение количества выпавших атмосферных осадков как летних, так и зимних.

Реакция гео-криологических условий на изменение климата

Гео-криологические условия реагируют на изменение климата повышением температуры пород в пределах слоя годовых колебаний и на его подошве, увеличении глубины сезонного протаивания и погружении кровли мерзлоты. На Надымском стационаре в 70-х гг. XX века среднегодовая температура пород на подошве годовых колебаний (~10 м) составляла 2... 3°C, в начале XXI века она уже поднялась до значений 0,1... 0,3°C и лишь на высоких буграх пучения она составляла 1,2°C. Последние 20 лет процесс повышения температуры пород на подошве слоя годовых температур практически не происходит из-за больших теплотрат на фазовые переходы.

Следствием повышения температуры пород в слое годовых теплооборотов является увеличение глубины их сезонного протаивания. В 70-гг. XX века глубина протаивания на торфяни-

ках на широте Надьма составляла 40–60 см. К 1997 г. на возвышенных участках торфяников, в точках, с мощным растительным и органическим покровом глубина сезонного протаивания увеличилась в среднем до 73 см, а в 2020 г. достигла 160 – 180 см. На участках высоких дренированных торфяников с мощностью органического слоя менее 50 см уже в 1997 г. был зафиксирован отрыв сезонной мерзлоты от многолетней. Бурением в 2010 г. и геофизическими исследованиями в 2018 г. установлено, что кровля многолетней мерзлоты на таких участках залегает на глубинах от 3 до 6 м от поверхности. Площадь этих участков постепенно увеличивается. В 2020 г. из 121 наблюдательных точек площадки CALM I отрыв сезонной мерзлоты от многолетней был зафиксирован в 112 точках. Однако монотонный процесс увеличения площади участков с мерзлотой несливающегося типа время от времени нарушается. В холодные малоснежные зимы (например, зимой 2016–2017 гг.), возможно смыкание сезонной и многолетней мерзлоты в точках, где кровля мерзлоты залегает на глубинах около 2 м (рис. 2).

образовании провалов и озерков, в появлении свежих оползней и трещин на склонах бугров. В окрестностях стационара обнаружено новое термокарстовое озеро, образовавшееся на месте бугра пучения. Время образования озера (1999–2000 гг.) установлено дендрохронологическим способом, по стволам деревьев, которые оказались затопленными и погибли после полного протаивания бугра. Во-вторых, на залесённой поверхности старых бугров пучения повышение температуры ММП не происходит. Причиной этого, возможно является сильное затенение поверхности бугра летом, благодаря разрастанию древесной растительностью и кустарником.

Реакция гидрогеологических условий на изменение климата

В 70-х годах XX века торфяники представляли собой низкие местные водоразделы, с которых инфильтрующие-

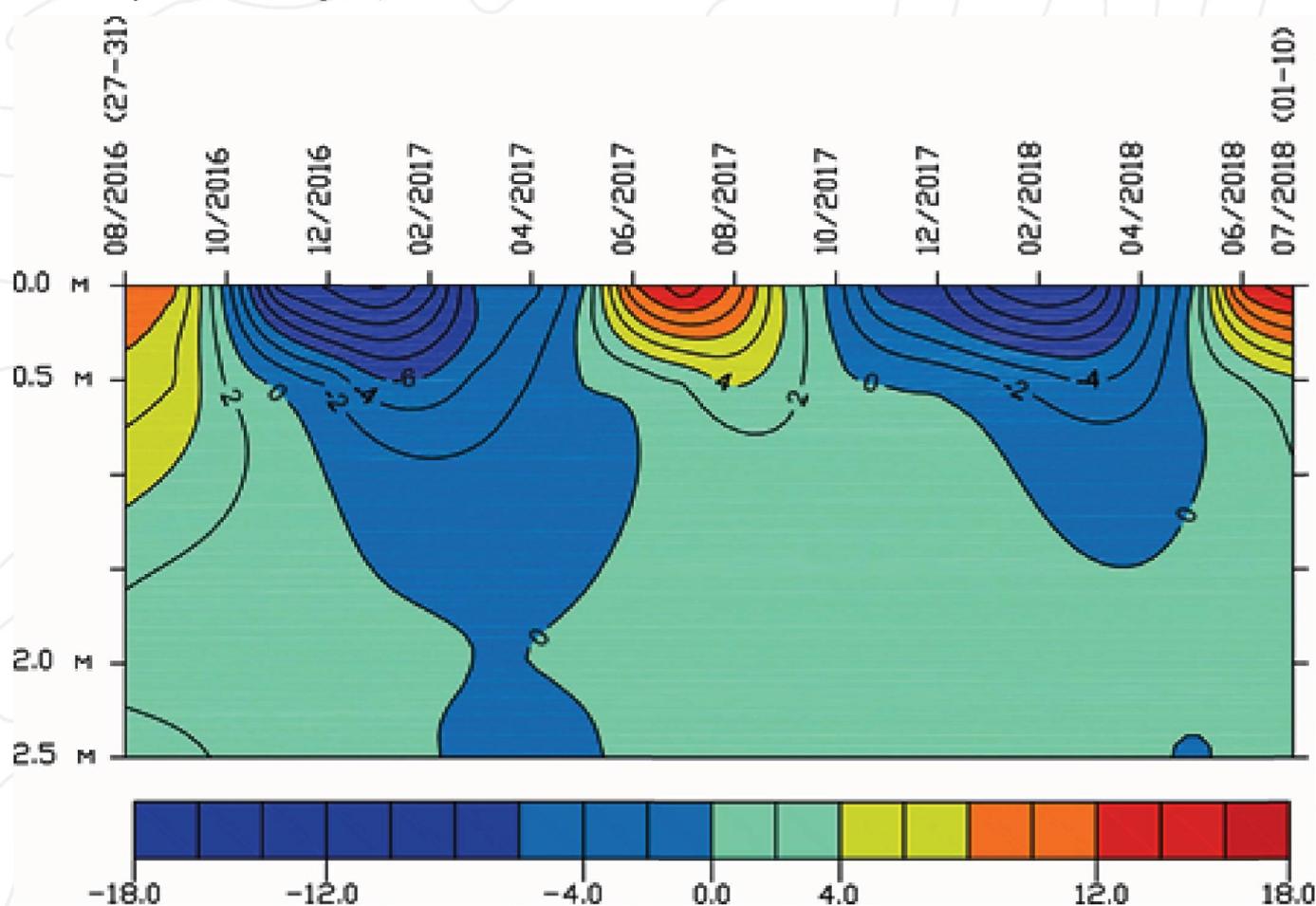


Рис. 2. Термоизоплеты за период (август 2016–июль 2018 гг.) по данным скважины на плоском торфянике.

Увеличение мощности СТС и понижение кровли ММП приводит к тепловой осадке поверхности. За 15 лет на площадке CALM I оно составило 14 см.

Наши наблюдения свидетельствуют о том, что бугры пучения по-разному реагируют на изменения температуры воздуха и ММП. Во-первых, на поверхности бугров изменение климата активизирует термокарст, который проявляется в

ся атмосферные осадки поступали в СТС мощностью 40–60 см и через органогенные грунты медленно дренировались заболоченными ложбинами стока. В настоящее время глубина протаивания сильно увеличилась. По данным геофизических исследований и бурения уровень надмерзлотных вод на торфяниках и в заболоченных ложбинах стока имеет одинаковые отметки. Водовмещающими породами единого

водоносного горизонта служат пески, подстилающие органические грунты. Современные скорости фильтрации надмерзлотных вод значительно превышает таковые в органических грунтах в 1970-е годы. Соответственно изменились и темпы теплопередачи. Таким образом, можно констатировать факт значительных изменений гидрогеологических условий на высоких дренированных торфяниках.

На слабодренированных низких торфяниках с мощностью органического слоя около 1 м темпы увеличения глубины сезонного протаивания значительно меньше. На площадке CALM II в Надьме с начала наблюдений (2013 г.) темпы увеличения глубины протаивания составили в среднем 7,5 см в год от 52,3 за 2013 г. до 103 см в 2020 г. Точки, в которых отмечено увеличение глубины сезонного протаивания, расположены на границе торфяников с заболоченными ложбинами стока. Увеличение глубины протаивания зафиксировано в годы, когда данные участки были залиты водой, что указывает на значительное влияние гидрогеологических и гидрологических условий на глубину протаивания.

Выводы

Торфяники – самый устойчивый к изменению климата ландшафт (по данным XX в. – начала XXI в.), в XXI веке отреагировали на изменение климата стремительным расширением площади участков с мерзлотой неслюющего типа и увеличением глубины сезонного протаивания.

Реакция низких, слабо дренированных торфяников на изменение климата оказывается значительно меньшей, чем у высоких дренированных торфяников.

На темпы понижения кровли ММП оказывают влияние: а) толщина деятельного слоя; б) состав и влажность (льдистость) де-

ятельного слоя и подстилающих его пород; в) высота торфяника.

Преобладающим процессом становится тепловая осадка поверхности.

Значительное увеличение глубины протаивания пород и осадка поверхности приводят к большим изменениям гидрогеологических условий территории, формированию единого водоносного горизонта на торфяниках и в окружающих их заболоченных ложбинах стока. Водовмещающими породами становятся хорошо фильтрующиеся пески, в результате чего в целом возрастает скорость фильтрации.

Литература

Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А., Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Малкова Г.В., Облогов Г.Е., Пономарева О.Е., Садуртдинов М.Р., Стрелецкая И.Д., Стрелецкий Д.А., Устинова Е.В., Широков Р.С. // Деграция мерзлоты: результаты многолетнего геофизиологического мониторинга в западном секторе российской Арктики. // Криосфера Земли, 2020, т. XXIV, №2. – С.15-30.

Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири ИКЗ. – Новосибирск: ГЕО, 2012. –207 с.

Медведков А.А. Картографирование криогенных ландшафтов на основе анализа тепловых снимков // Интеркарто. Интергис. Том 22. №1. 2016. – С. 380-384.

Brown J., Hinkel K. M., and Nelson F. E., 2000. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: Research designs and initial results, Polar Geography, vol. 24, No. 3, 258 p.

<http://meteo.ru/med/> Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД).