

НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ И ДОСТИЖЕНИЯ ЗА 2021 год

Прошедший год был отмечен рядом содержательных конференций геокриологической направленности (перечисляются конференции/форумы с участием иностранных ученых), в которых приняли деятельное участие ученые РАН, СО РАН (ИМЗ СО РАН (Якутск, www.mpi.ysn.ru), ИКЗ ТюмНЦ СО РАН (Тюмень, <http://www.ikz.ru>), ИГЭ РАН (Москва, <http://geoenv.ru/index.php/ru/>), ИФХиБПП (Пушино, <http://www.issp.psn.ru/>), ИГ СО РАН им. В.Б. Сочавы (Иркутск, <http://www.irigs.irk.ru/>) и многие другие, а также ученые и преподаватели географического и геологического факультетов МГУ).

1. 3-4 марта 2021 г. в Москве прошла VI Международная конференция «Арктика: шельфовые проекты и устойчивое развитие регионов» («Арктика-2021»). На этой же площадке прошла телеконференция, организованная «Российским газовым обществом», совместно с Администрацией ЯНАО. Было заслушано семь докладов ведущих геокриологов страны по тематике оценки геокриологических опасностей, мониторинга и адаптации.
2. 21-26 марта 2021 г. прошла неделя саммита арктических наук (Arctic Science Summit Week 2021), виртуальная площадка которой находилась в Португалии (Лиссабон). На конференции на 57 секциях было заслушано около 700 докладов по широкому спектру арктических проблем, из которых 19 были подготовлены с участием российских мерзловедов.
3. 20 апреля 2021 г. в Москве онлайн состоялось **Совместное заседание** «Научного совета по криологии Земли РАН», «Научного совета по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии РАН» и «Российского геологического общества» (РОСГЕО) по проблеме, посвященной оценке состояния криолитозоны Арктики и созданию государственной межведомственной системы мониторинга многолетнемерзлых пород (вечной мерзлоты). Вечная мерзлота, проявляющая в условиях изменяющегося климата тенденцию к деградации, является в настоящее время главным дестабилизирующим фактором устойчивого развития регионов на суше и на Арктическом шельфе. Обсуждалось: создание государственной межведомственной системы мониторинга вечной мерзлоты Арктики; Геокриологические исследования и мониторинг в Восточной Сибири. Закон о вечной мерзлоте Республики САХА (Якутии) и т.д.
4. 27-30 сентября 2021 г. прошел Северный форум в Якутске, под флагом которого ученые и политики рассмотрели пути устойчивого развития Арктики. Ведущие российские мерзловеды Института мерзловедения, Института криосферы Земли, Московского государственного университета и других научных организаций представили обстоятельный обзор задач развития отечественной геокриологии.
5. 24-29 октября 2021 г. состоялась конференция Американской ассоциации геокриологов, совмещенная с Инженерной конференцией по холодным регионам (Regional Conference on Permafrost and 19th International Conference on Cold Region Engineering). Представительство России было здесь скромным - всего лишь три доклада.
6. 8-12 ноября 2021 г. по инициативе правительства ЯНАО прошла международная научно-практическая конференция по мерзловедению (организаторы конференции: Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН и Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, департамент внешних связей Ямало-Ненецкого автономного округа, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», НП «Российский Центр освоения Арктики», Международная ассоциация по мерзловедению (IPA) «Трансформация криосферы и геотехническая безопасность» в Салехарде. Более 200 участников обсудили все значимые задачи обеспечения адаптации к климатическим изменениям в Арктике с учетом текущего председательства России в Арктическом Совете. (The International Conference on Cryosphere Transformation and Geotechnical Safety Issues, November 8-12, 2021 Salekhard, Russia).
7. Постоянно происходил обмен научной информацией на международном уровне – размещение отчетов о научных достижениях в области геокриологии стран – участниц IPA на обновленном

сайте: <https://www.permafrost.org/> (электронный журнал «Frozen Ground»/The News Bulletin of the International Permafrost Association, а также информационный он-лайн портал [IPA-newsletter](#) «Frozen Ground»).

**Институт криосферы Земли Тюменского научного центра Сибирского
отделения Российской академии наук
(ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, Тюмень) <http://www.ikz.ru/>**

1. В мае 2021 г. отметил 30 лет со дня основания (расширенное заседание ученого совета ИКЗ, посвященное этому событию, состоялось 9 июня 2021 г.). Создание института стало важной вехой в развитии науки, изучающей мир холода. на практике был воплощен междисциплинарный подход к объекту исследования. Для развития Института были приглашены не только мерзловеды, но и специалисты по физике, химии, механике, теории систем и др. Реализация такого подхода была призвана построить целостную научную картину мира холода. Это позволило существенно расширить объект исследований криологии: от криолитосферы и гляциосферы до почти стокилометровой атмосферной оболочки Земли, рассматривая пределы существования многолетнемерзлых пород в сторону положительных температур, распространив криолитозону до глубин, где есть условия для гидратообразования, включая морские и океанические пространства. (см. статью в журнале «Криосфера Земли» (<http://earthcryosphere.ru/arch/#2021>) Выпуск №2, 2021: В.П. Мельников, М.Р. Садуртдинов, А.Н. Нестеров, Р.Ю. Федоров, Е.В. Устинова «К юбилею Института Криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН», melnikov@ikz.ru)

2. ИКЗ продолжает проводить совместные международные исследования по программам CALM, TSP, GTN-P, PEEH (происходит постоянная пролонгация программ) (Участники программ: ИМЗ СО РАН (Якутск), ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, ИГЭ РАН, ИФХиБПП РАН (Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино). Ежегодные публикации совместно с американскими учеными в Бюллетене Американской метеорологической службы (<https://www.ametsoc.net>).

3. ИКЗ продолжает издание журнала «ХолодОК» (http://www.ikz.ru/edu/holod_ok). Продолжается издание журнала «Криосфера Земли», где публикуются статьи о наиболее значимых достижениях, исследованиях и т.п. (<http://earthcryosphere.ru/> , архив: <http://earthcryosphere.ru/arch/>). (Аннотации наиболее важных статей представлены в конце данного файла).

4. Научные сотрудники ИКЗ выполняли экспертные работы (писали экспертные заключения) по отчетам научных организаций:

4.1. Пономарева О.Е., к.г.-м.н.: проект «Мониторинг толщи вечномерзлых пород на застроенных (селитебных) территориях муниципального образования город Норильск с применением информационно-аналитической системы (АИС) «Геотехнический мониторинг толщи вечномерзлых грунтов с учетом изменения климата»; организация-исполнитель проекта - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Норильский государственный промышленно-индустриальный институт», учредитель - Министерство науки и высшего образования РФ.

4.2. Пономарева О.Е., к.г.-м.н.: проект «Экосистемные изменения в Сибири: локальные, региональные и глобальные аспекты»; организация-исполнитель проекта - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, учредитель - Министерство науки и высшего образования РФ.

4.3. Малкова Г.В., к.г.-м.н.: проект «Строение, возраст и условия формирования криолитозоны континентальных районов Центральной и Северо-Восточной Азии»; организация-исполнитель

проекта - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, учредитель - Министерство науки и высшего образования РФ.

4.4. Дворников Ю.А., к.г.-м.н.: проект «Геотемпературное поле и трансформация криолитозоны Северной Азии и горных областей Центральной Азии»; организация-исполнитель проекта - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, учредитель - Министерство науки и высшего образования РФ.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ СО РАН) <http://mpi.ysn.ru>

Основные итоги 2021 года. Наиболее важные результаты

1. Новая математическая модель динамики верхней границы мерзлоты в поле отрицательных температур на примере шельфа морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (рис. 1).

Темп деградации мерзлоты зависит от глубины залегания ее границы и примерно равен скорости диффузии морских солей с концентрацией 3-4‰ в донных отложениях. С возрастанием глубины залегания верхней границы мерзлоты скорость деградации нелинейно понижается. Результаты расчетов на основе представленной модели показывают, что на шельфе рассматриваемых морей за счет диффузии солей ежегодно оттаивает приблизительно 4 млрд. куб. м многолетнемерзлых пород. На большей части шельфа фронт оттаивания достиг глубин 40-60 м от поверхности дна. Масштабная солевая деградация реликтовой мерзлоты арктического шельфа началась в ходе послеледниковой морской трансгрессии и продолжается в текущее время. Ввиду существенного недостатка фактических данных по динамике мерзлотных процессов на арктическом шельфе предложенная модель имеет важное значение для изучения закономерностей и оценки воздействия наиболее значимых природных факторов на шельфовые криогенные системы. Это является одной из основных задач морской геокриологии в Арктике.

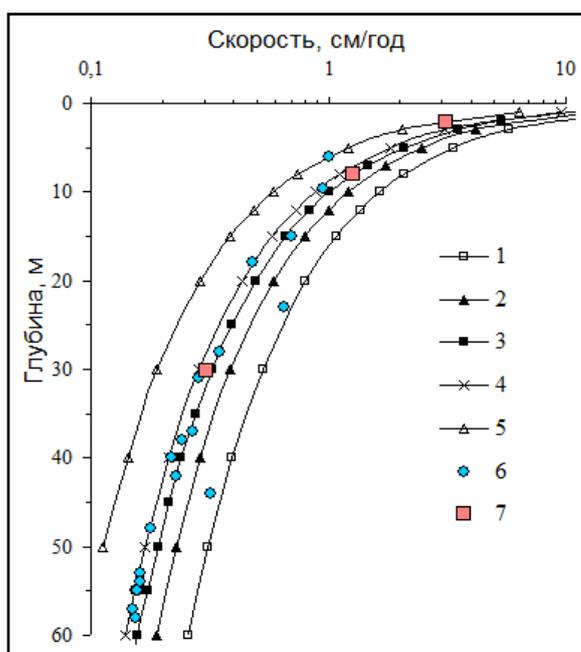


Рис. 1. Модель динамики верхней границы многолетнемерзлых пород исследуемой части арктического шельфа в поле отрицательных температур. Скорость диффузии солей с концентрацией на подвижной границе фазового перехода: 1 – 1‰, 2 – 2‰, 3 – 3‰, 4 – 4‰, 5 – 10‰. Скорость деградации мерзлоты: 6 – по результатам моделирования, 7 – оцененная по данным бурения на шельфе моря Лаптевых [Rachold et al., 2007].

Результаты исследований опубликованы в статьях:

1. Разумов С.О. Модель деградации многолетнемерзлых пород в поле отрицательных температур на шельфе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского // Наука и Мир. 2021. № 9 (97). С. 71-75.

2. Angelopoulos, M., Overduin, P. P., Jenrich, M., Nitze, I., Günther, F., Strauss, J., Westermann, S., Schirrmeister, L., Kholodov, A. L., Krautblatter, M., Grigoriev, M. N., Grosse, G. (2021): Onshore thermokarst primes subsea permafrost degradation, *Geophysical Research Letters*. doi: 10.1029/2021GL093881

2. Тематические цифровые карты для оперативной оценки инженерно-геокриологических условий криолитозоны Якутии

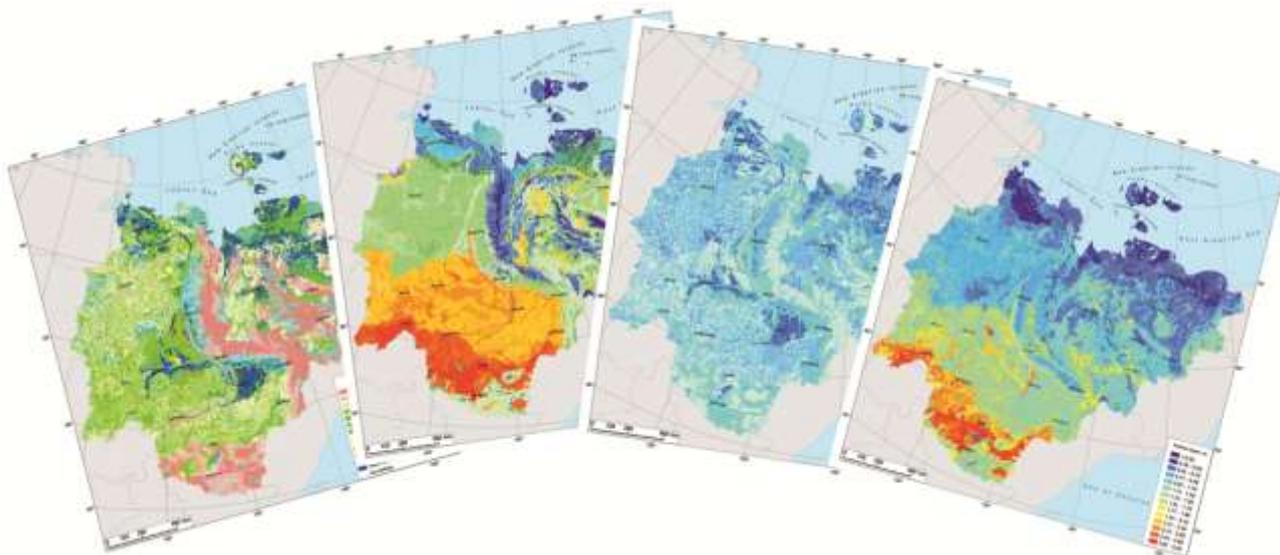


Рис. 2. Карты температуры грунтов на глубине слоя годовых колебаний, глубины деятельного слоя, льдистости отложений и распространения криогенных процессов.

На основе Мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000 составлены тематические цифровые карты для отдельных характеристик состояния многолетнемерзлых пород – температуры грунтов, глубины деятельного слоя, льдистости отложений и распространения криогенных процессов (рис. 2). Представлено широкое распространение льдистых грунтов (льдистость более 0,4) на территории Якутии – до 40%, являющихся основной причиной уязвимости вечной мерзлоты в условиях антропогенного воздействия и потепления климата. Составленные карты позволят провести оперативную оценку инженерно-геокриологических условий территории Якутии, планирования и проведения природоохранных мероприятий, организации учебного процесса в школах, ССУЗах и ВУЗах.

Результаты исследований опубликованы в статье:

Shestakova A.A., Fedorov A.N., Torgovkin Y.I., Konstantinov P.Y., Vasyliov N.F., Kalinicheva S.V., Samsonova V.V., Hiyama T., Iijima Y., Park H., Iwahana G. and Gorokhov A.N. 2021. Mapping the Main Characteristics of Permafrost on the Basis of a Permafrost-Landscape Map of Yakutia Using GIS. LAND, 10 (5), 462.

Конференции

Форум молодых геокриологов «Актуальные проблемы и перспективы развития геокриологии», который проведен 28 июня - 13 июля 2021 г. в городе Якутске Институтом мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, был посвящен 100-летию со дня рождения ученых-мерзловедов Евгения Марковича Катасонова и Нины Петровны Анисимовой (рис. 3). В работе форума приняли участие молодые ученые, студенты, аспиранты и специалисты до 39 лет. Форум состоял из научной конференции (28 июня – 2 июля) и полевой школы-семинара (3 – 13 июля). Собрались молодые мерзловеды не только из России, но и из других стран, где ведутся исследования вечной мерзлоты и влияния климата на ее состояние. Всего поступило 140 заявок, из них 25 иностранных участников (из 8 стран: США, Китай, Англия, Германия, Франция, Индия, Канада и Белоруссия).

Также приняли участие представители многих ведущих научных, образовательных, отраслевых учреждений и промышленно-производственных компаний (МГУ, СПбГУ, ТюмГУ, ФИЦ ТНЦ СО

РАН, ИГ РАН, ИЗК СО РАН, ИГМ СО РАН, ИНГГ СО РАН, СВФУ, ФИЦ ЯНЦ СО РАН, Total, SRK Consulting, НИИОСП и др.).

65% территории России заняты вечной мерзлотой, поэтому геокриологические исследования актуальны и важны именно для России. Молодые ученые обсудили вопросы устойчивости естественных ландшафтов, а также урбанизированных территорий с инженерными сооружениями и их комплексами в связи с изменениями климата. Интерес зарубежных ученых к конференции связан с тем, что мерзлота, предмет исследований, в Якутии почти повсеместна и имеет мощность от 250 до 1500 м.



Рис. 3. Директор ИМЗ СО РАН д.г.-м.н. М.Н. Железняк приветствует участников форума молодых геокриологов «Актуальные проблемы и перспективы развития геокриологии»

В полевой научной школе-семинаре (рис. 4, 5) участники форума познакомились с изучением феномена - тукуланов Центральной Якутии. Было продолжено полевое изучение Усть-Буотамского обнажения дьолкуминской свиты и современного дюнного массива Саамыс-Кумага, а также Ленской дюны. На тукуланах Махатта и Кысыл-Сыр было проведено также гидрохимическое опробование источников подземных вод и водотоков, гидрометрические работы на участках выходов подземных вод. Полученные результаты будут использованы для сравнения с историческими данными (1974-1975 гг.) для оценки изменчивости водных ресурсов региона за последние 50 лет.





Рис. 4. Полевая научная школа-семинар.



Рис. 5. Изучение строения покровных дюнных отложений тукулана Махатта. Полевая школа-семинар на тукулане Махатта. Июль 2021 г.

Экспедиции

1) Летом 2021 г. начаты работы по оценке абсолютного возраста ключевых разрезов четвертичных отложений Центральной Якутии методами радиоуглеродного, оптико-люминесцентного и космоизотопного датирования. Исследования выполняются в рамках долгосрочной научной программы и «Меморандума по изучению эволюции многолетнемерзлых и ледниковых отложений и хроностратиграфии плейстоцена Северо-Востока Сибири», заключенного в текущем году между следующими участниками: Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения РАН (Якутск), Арктический научно-исследовательский центр Академии наук РС(Я) (Якутск), Институт географии РАН (Москва), Географический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова (Москва), Институт земной коры Сибирского отделения РАН (Иркутск) и Департамент Геонаук университета Орхуса (Дания) (Руководитель - д.г.н. Галанин А.А.).

В рамках Программы совместных исследований были организованы 4 научных экспедиции: «Яна», «Колыма», «Лена» (рис. 6) и «Диринг-Юрях», в которых ИМЗ СО РАН выступил ключевым партнером не только по обеспечению технической базы, но и кадрового состава данных

экспедиций, практически одновременно направленных в разные районы Северо-Востока Сибири. Основным объектом исследований экспедиции «Лена» в этом году были плейстоценовые криогенные образования и комплексы верхоянских морен бассейна р. Ундулонг и на мысе Мавра вблизи г. Жиганска, а также несколько опорных обнажений в окрестностях г. Якутска (Усть-Буотамское и Диринг-Юрях). В экспедиции приняли участие научные сотрудники ИМЗ СО РАН Алексей Галанин, Василий Лыткин, Мария Павлова, Григорий Шапошников, инженер-исследователь Анжела Васильева, аспирант географического факультета МГУ Мария Лукьянычева, сотрудник Палеонтологического института РАН Светлана Кузьмина и студент географического факультета СВФУ Николай Мишкин.



Рис.6. Экспедиция Лена. Движение вверх по р. Ундулонг. Июль 2021 г.

2) Экспедиция в северный Тянь-Шань (Алматинская область Казахстана) была организована с 23 июля по 1 августа 2021 г. и проходила в бассейне р. Озерная вблизи границы с Киргизией. Целью экспедиции являлось исследование химического состава природных вод региона и характеристика источников питания рек и ручьев, а также выявление роли подземных льдов каменных глетчеров в питании водотоков (рис. 7) (Руководитель – к.г.-м.н. Павлова Н.А.).



Рис. 7. Измерение расхода воды на ручье в северном Тянь-Шане.

Публикации

1) Обобщены мировые данные о географическом распространении, морфологических особенностях, строении и динамике курумов – одного из специфических явлений криолитозоны. Показано, что крупнообломочные отложения представляют собой широко распространенный генетический тип покровных грунтов, формирование и развитие которого определяется низкими температурами воздуха, образованием массивного внутригрунтового льда и наличием водоупора в виде скальных и/или многолетнемерзлых горных пород. В структуре курумов преобладает обратная стратификация крупнообломочного материала, его постепенное измельчение и повышение степени окатанности по мере увеличения глубины. Курумы кардинальным образом изменяют структуру внутригодового водно-теплового баланса территории, регулируют поверхностный и подземный сток, контролируют энергетическое состояние многолетнемерзлых горных пород, обеспечивают чрезвычайно активный криогипергенез покровных отложений и создают условия для развития специфических сообществ растительного и животного мира. Выявлена возрастная, фациальная и территориальная изменчивость курумов, разработана их многорядная классификация. Совокупность представленного фактического, аналитического и иллюстративного материала рассматривается как основа актуального научного направления в геокриологии – курумоведения.

Результаты исследований опубликованы в монографии:

Алексеев В.Р. Курумы – феномен криосферы. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2021. – 348 с.

2) Проведено комплексное изучение взвешенных веществ (ВВ) в летней и зимней приземной атмосфере северного города. Определены основные физико-химические свойства ВВ (содержание макро- и микроэлементов, минералогический и гранулометрический состав) в атмосфере Якутска. Впервые получены данные о распространении редких, рассеянных, редкоземельных и радиоактивных элементов во ВВ городской атмосферы. Получены количественные и качественные характеристики летнего и зимнего поступления взвешенных веществ из атмосферы. Основная масса химических элементов – около 90% выпадает из атмосферы в теплый период. На зимние твердые впадения ВВ приходится около 10% от общей массы поступления веществ из атмосферы. Поступление химических элементов из атмосферы в миграционных аэрозольно-газовых формах позволяет токсичным элементам при таянии снега проникать в поверхностные горизонты грунтов сезонно-талого слоя и надмерзлотных вод. По сравнению с содержанием тяжёлых металлов в пылевой и аэрозольной фракциях снега крупных сибирских городов территория Якутска отличается меньшими концентрациями рассматриваемых микроэлементов.

Результаты исследований опубликованы в монографии:

Экогеохимия взвешенных веществ в атмосфере Якутска / В.Н. Макаров, Н.В. Торговкин; отв. ред. д.г.-м.н. В.Б. Спектор; Сиб. отд-ние РАН; Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова. – Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2021. – 94 с. (5,3 п.л.) ISBN 978-5-93254-099-2.



Защита диссертаций

24-26 ноября 2021 г. на сессии диссертационного совета Д 003.025.01 при Институте мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН успешно защитились 2 сотрудника института (рис. 8, 9) по специальности 1.6.7 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение:



Рис. 8. Защита диссертационной работы **Винокуровой Татьяны Александровны** на тему «Численное моделирование температурного режима мерзлых грунтов при антропогенных воздействиях с использованием методов обратных задач», представляемой на соискание ученой степени кандидата технических наук.

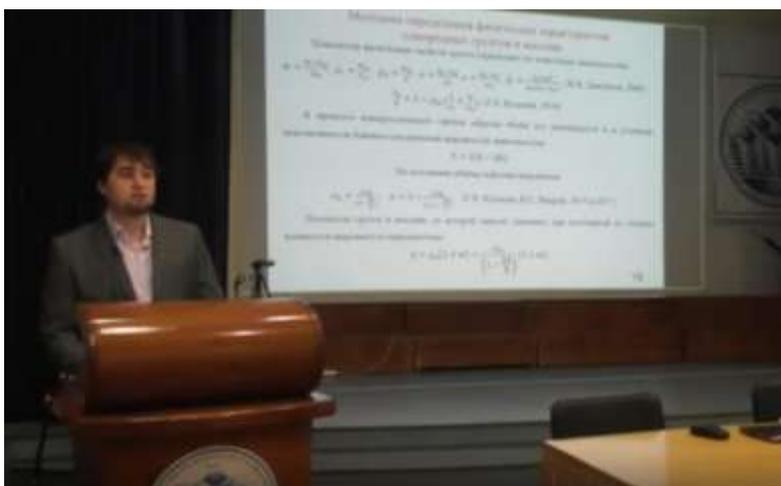


Рис. 9. Защита диссертационной работы **Вахрина Ивана Сергеевича** на тему «Закономерности деформирования и изменения физических характеристик мёрзлых дисперсных грунтов при оттаивании в условиях компрессионного сжатия», представляемой на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Награждения

За выдающийся вклад в развитие российско-германского научного сотрудничества в области изучения Арктической зоны доктор географических наук заместитель директора Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (Россия, г. Якутск) Михаил Николаевич Григорьев и бывший директор Потсдамского филиала Гельмгольц центра полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Германия, г.Потсдам) профессор Ханс-Вольфганг Хуббертен удостоены высокой награды - ордена «За заслуги перед Федеративной Республикой Германии». Торжественная церемония вручения наград состоялась 6 октября 2021 г. в г.Якутск (рис. 10, 11) и 29 ноября 2021 г. в г.Потсдам (рис. 12). Это высокая оценка исследовательской деятельности мерзлотоведов России и Германии.



Рис. 10. **М.Н. Григорьев** (справа) после награждения *Орденом «За заслуги перед ФРГ»*. **Бернд Финке** - Генеральный консул Федеративной Республики Германия в Сибирском и Дальневосточном федеральных Округах (слева).



Рис. 11. Орден «За заслуги перед ФРГ» и наградной лист Президента ФРГ.



Рис. 12. Вручение ордена профессору Хансу-Вольфгангу Хуббертену доктором Маней Шюле, министром науки, исследований и культуры земли Бранденбург. 29 ноября 2021 г., г. Потсдам (Германия).

Институт геоэкологии им.Е.М. Сергеева РАН (Москва)

<http://geoenv.ru/index.php/ru/>

Институтом Земной коры СО РАН совместно с Институтом геоэкологии РАН продолжены регулярные геокриологические наблюдения в южной геокриологической зоны, прилегающей к берегам озера Байкал (рис. 1). Выявлены участки с существенными изменениями ландшафтов, связанными с многолетним оттаиванием многолетнемёрзлых пород.



Рис. 1. Изучение динамики береговых процессов в Южной геокриологической зоне (западный берег озера Байкал, фото М.Г. Мнушкина).

В условиях переменной эпидемиологической обстановки в России летом 2021 года удалось выполнить регулярные геокриологические наблюдения по программе GTN-P в Чаре (Забайкальский край) и на Севере Европейской части России (Воркута – рис. 2). Температуры многолетней мерзлоты понизились, что объясняется холодной и малоснежной осенью 2020 г.



Рис. 2. Учебная геокриологическая практика МГУ в Воркуте. Изучение температурного режима грунтов и активности геокриологических процессов (фото А.П. Безделовой).

Список работ, опубликованных сотрудниками ИГЭ РАН в 2021 г.

1. Светлаков А.А., Козырева Е.А., Сергеев Д.О. Температура мёрзлых грунтов в современной природно-климатической обстановке лесостепного Прибайкалья (на примере о.Ольхон) // Криосфера Земли, 2021, т. XXV, № 5, с. 13–21. DOI: 10.15372/KZ20210502
2. Tananaev, N.; Isaev, V.; Sergeev, D.; Kotov, P.; Komarov, O. Hydrological Connectivity in a Permafrost Tundra Landscape near Vorkuta, North-European Arctic Russia // Hydrology 2021, 8, 106. <https://doi.org/10.3390/hydrology8030106>
3. A.A. Plotnikov, V.P. Merzlyakov. Increasing the Bearing Capacity and Durability of Building Foundation on Frosen Soils // Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 58, No 1, 2021, pp. 71 – 77. DOI: 10.1007/s11204-021-09708-0
4. Хименков А.Н., Власов А.Н., Брушков А.В., Кошурников А.В., Волков-Богородский Д.Б., Сергеев Д.О., Гагарин В.Е., Соболев П.А. Геосистемы газонасыщенных многолетнемерзлых пород. М.: Геоинфо, 2021, 288 с., ISBN 978-5-9908-493-3-4
5. В.П.Мельников, В.И.Осипов, А.В.Брушков, С.В.Бадина, Д.С.Дроздов, В.А.Дубровин, М.Н.Железняк, М.Р. Садуртдинов, Д.О.Сергеев, Н.А.Остарков, А.А.Фалалеева, Я.Ю.Шелков Оценка ущерба жилым и промышленным зданиям и сооружениям при изменении температур и оттаивании вечной мерзлоты в арктической зоне российской федерации к середине XXI века // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2021, № 1, с. 14–31. DOI: 10.31857/S0869780921010070
6. Хименков А.Н., Станиловская Ю.В. Воронки газового выброса как результат саморазвития локальных криогенных газодинамических геосистем / Издательство Геомаркетинг 2021. Том 15, ГЕОРИСК. Том XV, № 2. С. 40-58 DOI:10.25296/1997866920211524058
7. А.Н. Хименков, А.В. Кошурников, Д.О. Сергеев, П.А. Соболев Газонасыщенные мерзлые породы криолитозоны // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология № 2, 2021, с. 3–16. DOI:10.31857/S0869780921020041
8. Хименков А.Н., Кошурников А.В., Станиловская Ю.В. Парагенезы криогенных образований воронок газового выброса (1 Часть). Морфология криогенных образований // 2021 Арктика и Антарктика. № 2. С. 27–52. DOI:10.7256/2453-8922.2021.2.35500
9. Тер –Мартиросян З.Г. Кубецкий В.Л., Кроник Я.А., Мерзляков В.П., Королёв М.В. О значимости научного наследия Н.А. Цытовича и С.С. Вялова в становлении и развитии инженерного мерзлотоведения // Фундаменты, №1 (3)/2021, 4 – 10.
10. Плотников А.А., Мерзляков В.П. Повышение несущей способности и долговечности фундаментов зданий на мёрзлых грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2021, №1, 27 – 31.
11. Хименков А.Н., Брушков А.В. Введение в структурную криологию: учебник для вузов / Издательство Урайт 2021, ISBN 978-5-534-13702-6, 303.
12. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Бадина С.В., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Железняк М.Н., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О., Окунев С.Н., Остарков Н.А., Осокин А.Б., Федоров Р.Ю. Адаптация инфраструктуры Арктики и Субарктики к изменениям температуры мерзлых грунтов // Криосфера Земли, 2021, т. XXV, № 6, с. 3–15. DOI: 10.15372/KZ20210601

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ПУЩИНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ФИЦ ПНЦБИ РАН)**

**Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
(ИФХиБПП РАН, Пушкино) <http://www.issp.psn.ru/>**

ИТОГИ 2021

Проведен комплексный морфологический и молекулярно-генетический анализ новых штаммов беллоидных коловраток рода *Adineta* из географически удаленных точек на территории Российской Федерации, а также эксперименты по их выживаемости при замораживании. Полученные результаты позволили уточнить филогенетическое положение штамма, выделенного из многолетнемерзлых позднеплейстоценовых отложений Колымской низменности, и создать базу для дальнейших экспериментов по изучению механизмов устойчивости к отрицательным температурам.

-Shmakova, L., Malavin, S., Iakovenko, N., Vishnivetskaya, T., Shain, D., Plewka, M., & Rivkina, E.

(2021). A living bdelloid rotifer from 24,000-year-old Arctic permafrost. *Current Biology*, 31(11), R712-R713.

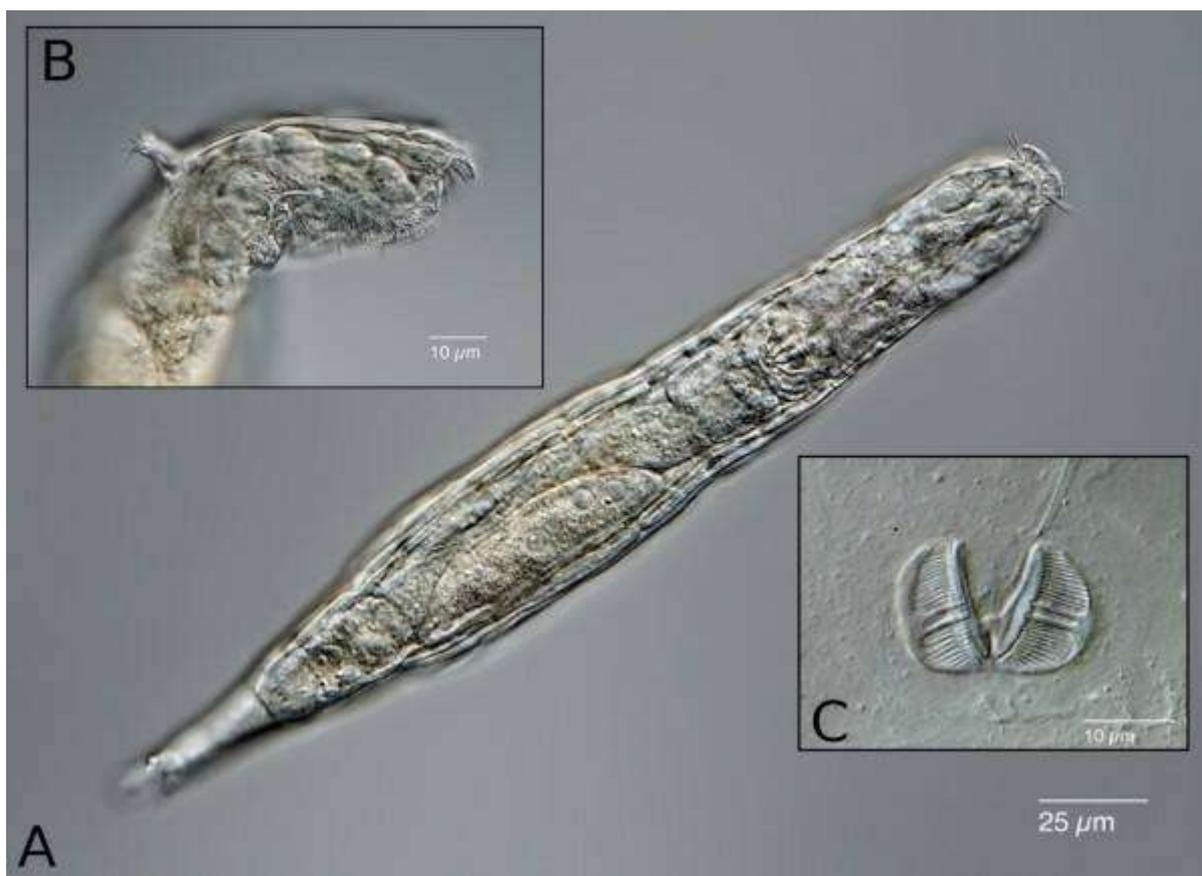


Рис. 1. Штамм Ad01 (SCL-15-7) из ММО Колымской низменности (по Shmakova et al. 2021). А – Общий вид. В – Голова сбоку, оптический разрез через сагиттальную плоскость. С – Трофи (внутренние челюсти).

Продолжаются метагеномные исследования биоразнообразия многолетнемерзлых отложений различного возраста. Анализ геологического строения опорных разрезов древних многолетнемерзлых отложений Арктики показал возможность непрерывного существования здесь мерзлоты в течении последних 1-1.4 миллиона лет. Что, в свою очередь, совпадает с максимальным временем сохранения жизнеспособных микроорганизмов в этих отложениях. Столь длительное сохранение жизнеспособности дает возможности поиска ответов как на фундаментальные биологические вопросы, а также важно в построении астробиологических моделей.

-Abramov A., Vishnivetskaya T., Rivkina E. Are permafrost microorganisms as old as permafrost? //FEMS Microbiology Ecology. – 2021. – Т. 97. – №. 2. – С. f1aa260.

-Sipes, K., Almatari, A., Eddie, A., Williams, D., Spirina, E., Rivkina, E., Liang, R., Onstott, T.C., Vishnivetskaya, T.A. and Lloyd, K.G., 2021. Eight Metagenome-Assembled Genomes Provide Evidence for Microbial Adaptation in 20,000-to 1,000,000-Year-Old Siberian Permafrost. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(19), pp.e00972-21. 10.1128/AEM.00972-21

-Liang, R., Li, Z., Vetter, M.C.L., Vishnivetskaya, T.A., Zanina, O.G., Lloyd, K.G., Pfiffner, S.M., Rivkina, E.M., Wang, W., Wiggins, J. and Miller, J., 2021. Genomic reconstruction of fossil and living microorganisms in ancient Siberian permafrost. *Microbiome*, 9(1), pp.1-20. 10.1186/s40168-021-01057-2

База данных о содержании органического углерода в мерзлотных почвах была использована при оценке общего пула углерода в верхних 3 метрах от поверхности в области распространения многолетнемерзлых пород, составившего 1014 Пето грамм. -U. Mishra, G. Hugelius, E. Shelef, Y. Yang, J. Strauss, A. Lupachev, J. W. Harden, J. D. Jastrow, C.-L.

Ping, W. J. Riley, E. A. G. Schuur, R. Matamala, M. Siewert, L. E. Nave, C. D. Koven, M. Fuchs, J. Palmtag, P. Kuhry, C. C. Treat, S. Zubrzycki, F. M. Hoffman, B. Elberling, P. Camill, A. Veremeeva, A. Orr, Spatial heterogeneity and environmental predictors of permafrost region soil organic carbon stocks. *Sci. Adv.* 7, eaaz5236 (2021). DOI: 10.1126/sciadv.aaz5236

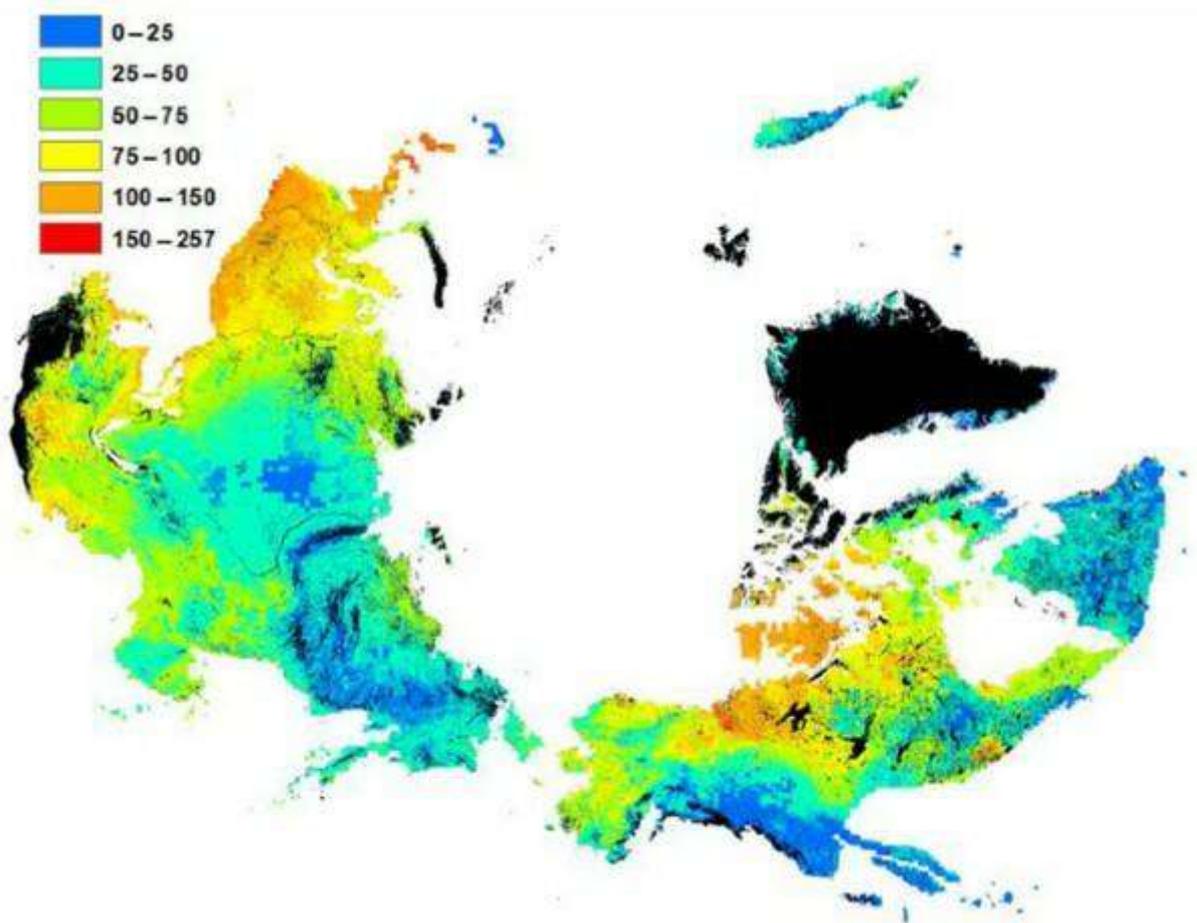


Рис. 2. Содержание органического углерода в верхних 3 метрах от поверхности, кг/м².

Создана классификация ландшафтов поверхности едом, сложенных отложениями ледового комплекса, на основе различий геоморфологических условий, мощности сезонно-талого слоя, характера почвенного и растительного покровов на основе материалов полевых исследований, данных съемки БПЛА и космических снимков сверхвысокого разрешения. -Veremeeva, A., Nitze, I., Günther, F., Grosse, G. and Rivkina, E., 2021. Geomorphological and Climatic Drivers of Thermokarst Lake Area Increase Trend (1999–2018) in the Kolyma Lowland Yedoma Region, North-Eastern Siberia. *Remote Sensing*, 13(2), p.178. 10.3390/rs13020178

По итогам многолетней работы была опубликована карта распространения в Арктике пород ледового комплекса (Рис.3). -Strauss, Jens, Laboor Sebastian, Schirrmeister Lutz, Fedorov Alexander N., Fortier Daniel, Froese Duane, Fuchs Matthias, Günther Frank, Grigoriev Mikhail, Harden Jennifer, Hugelius Gustaf, Jongejans Loeka L., Kanevskiy Mikhail, Kholodov Alexander, Kunitsky Viktor, Kraev Gleb, Lozhkin Anatoly, Rivkina Elizaveta, Shur Yuri, Siegert Christine, Spektor Valentin, Streletskaaya Irina, Ulrich Mathias, Vartanyan Sergey, Veremeeva Alexandra, Walter Anthony Katey, Wetterich Sebastian, Zimov Nikita and Grosse Guido. 2021. Circum-Arctic Map of the Yedoma Permafrost Domain. *Frontiers in Earth Science*. Volume 9 | Article 758360. 10.3389/feart.2021.758360.



Рис. 3.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии

Исследования 2021 года проводились по нескольким направлениям, традиционно выделяющимся в научной работе коллектива кафедры криолитологии и гляциологии.

Криолитологическое направление

В.В. Роговым обобщены и опубликованы в составе коллектива авторов результаты многолетних исследований существования и деятельности микроорганизмов в мерзлых толщах (Brouchkov et al., 2021). Обобщены результаты по исследованию криолитологических и геохимических особенностей подземных льдов (в составе коллектива авторов) (Rogov et al., 2021; Shmelev et al., 2021).

И.Д. Стрелецкой обобщены полевые материалы по ключевым разрезам берегов Карского моря и сделать выводы об особенностях формирования сильно льдистых отложений (Streletskaaya et al., 2021; Стрелецкая и др., 2021). Совместно с международным коллективом авторов создана база данных и карта распространения едомы (ледового комплекса) позволяют оценить закономерности распространения этих отложений. Эта первая полная цифровая циркумполярная карта едомы, которая является важным шагом к пониманию прошлой и нынешней пространственной неоднородности отложений ледового комплекса, что имеет первостепенное значение для оценки уязвимости и рисков в быстро теплеющей Арктике (Strauss et al., 2021).

И.Д. Стрелецкой с коллегами установлены и охарактеризованы новые факты реликтов мерзлотного рельефа и псевдоморфоз по вытаявшим полигонально-жильным льдам на Русской равнине, в Нижнем Поволжье и Предуралье (Рябуха и др., 2021; Ryabukha et al., 2021).

В.В. Роговым проведены криолитологический, гранулометрический и микроморфологический анализы минерального вещества и сделаны описания следов криогенных процессов для оценки палеогеографических условий их образования. Определено время формирования криогенного горизонта разреза Черный Яр посредством датирования методом ОСЛ-датирования вмещающих и

формирующих криогенную структуру отложений. Заполнение псевдоморфоз происходило ~45-40 тыс. л.н. (Taratunina et al., 2021; Таратунина и др., 2021). Впервые установлены и описаны четыре стадии развития вечной мерзлоты в нижнем течении Волги.

Под руководством В.И. Гребенца выполнены комплексные исследования состояния инфраструктуры Российской Арктики с оценкой степени деформированности объектов и влияния опасных криогенных и нивально-гляциальных процессов на устойчивость зданий и сооружений (Гребенец и др., в печати). Проанализировано воздействие на инфраструктуру Арктики размещения отходов, осуществлена классификация по степени их влияния на вечномерзлые основания. Особое внимание уделено влиянию на вечномерзлые основания механизированного перераспределения снега на застроенных территориях; формирование мощных отвалов отепляет мерзлоту, активизирует опасные криогенные процессы. Установлено, что на хозяйственно освоенных территориях криолитозоны формируются особые природно-техногенные геокриологические комплексы, в пределах которых прослеживается особое сочетание криогенных процессов и фиксируется различная устойчивость инфраструктуры даже для однотипных объектов.

В.И. Гребенцом, В.А. Толмановым и Ф.Д. Юровым проанализированы особенности хранения ТБО в условиях вечной мерзлоты (Grebenets et al., 2021). Выделены 8 основных типов хранилищ отходов в зоне вечной мерзлоты, которые различались как по накоплению отходов, так и по их влиянию на окружающую среду в целом и на вечную мерзлоту в частности. Это: хранилища промышленных отходов (шлаковые, шламовые и хвостохранилища, золоотвалы); отвалы горных пород на участках горных работ; аккумуляторы бытовых отходов; свалки отходов деревообработки в центрах лесной промышленности; заброшенные территории в результате сокращения населения северных поселений; площадки для хранения емкостей с остатками ГСМ; нефтебазы для хранения нефтепродуктов в населенных пунктах и городах Севера; площадки для хранения загрязненного снега, вывезенного из населенных пунктов. Загрязнение территорий с отходами и разрушение многих экосистем в результате складирования отходов были вызваны использованием несовершенных технологий добычи и переработки сырья, «наследием» прошлых лет с пренебрежением к условиям окружающей среды, отсутствием специальных стандартов для хранения мусора и побочных промышленных материалов, неосвоенных методов утилизации отходов в суровых климатических условиях.

А.И. Кизяков с коллегами с географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и ИКЗ СО ТюмНЦ РАН получили новые данные по темпам роста термоцирков на побережью Югорского полуострова за 2010-2020 гг. в результате обработки серии разновременных космических снимков (Leibman et al., 2021). Примененная методика восстановления цифровой модели рельефа, использовавшаяся для ортокоррекции изображений, и блочное уравнивание позволили добиться субметровой точности полученных результатов. Медианные скорости роста термоцирков изменялись от 0,5 до 13,7 м/год. Межгодовая динамика термоцирков определяется взаимным влиянием ряда климатических факторов и локальных условий каждого термоцирка, в первую очередь соотношением пластового льда и вмещающих пород в отступающих стенках.

Л.И. Зотовой выполнен обзор имеющихся научных достижений в области ландшафтно-индикационных исследований в криолитозоне, включая вопросы уточнения границ геокриологических зон ландшафтно-структурным методом (Zotova, 2021). Выявлена неоднозначность ландшафтной индикации ряда мерзлотных характеристик. Определены масштабные ограничения использования метода.

А.А. Маслаковым и Л.И. Зотовой с соавторами на примере тестового полигона в районе приморских равнин Восточной Чукотки отработаны методические приемы составления ландшафтной карты и карты потенциальной уязвимости ландшафтов к активизации криогенных процессов в условиях изменения климата и антропогенного воздействия масштаба 1:200 000 (Maslakov et al, 2021).

А.А. Маслаковым выполнена наиболее полная систематизация пластовых залежей льда для территории Восточной Чукотки. На основании изотопных, криолитологических и геохимических исследований 8 естественных обнажений был определен примерный возраст и механизм образования пластовых льдов восточной Чукотки (Vasil'chuk et al., 2021). Проведено 3D-моделирование теплового режима мерзлых пород вокруг подземного хранилища пищевых продуктов в поселении коренных жителей Лорино (Чукотский АО) и выполнен прогноз динамики температуры мерзлоты до 2050 г. Выявлено, что климатические изменения не окажут

критического влияния на состояние подземного сооружения, однако антропогенный фактор может спровоцировать обрушение хранилища (Maslakov et al., 2021, в печати).

Творческим коллективом в составе С.А. Сократова, Г.А. Ржаницына, Д.М. Фролова, В.Е. Гагарина и А.В. Кошурникова разработан и внедрен в учебный процесс новый курс для магистров кафедры по лабораторному изучению механических свойств снега, льда и мёрзлого грунта. В рамках курса студенты в холодной лаборатории проводят испытания образцов «на одноосное сжатие», на сдвиг и шариковым штампом.

В.И. Гребенцом и А.А. Маслаковым проведены ежегодные мониторинговые работы по изучению динамики сезонного протаивания грунтов в рамках программы CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring program) на площадках в районе Талнаха (на севере Красноярского края) и на Восточной Чукотке.

Гляциологическое направление

В.В. Поповниным продолжен многолетний мониторинг опорного ледника Джанкуат на Кавказе и ледников Кабаткак, Сары-Тор и Бодру на Тянь-Шане. Не нарушая общую тенденцию к сокращению ледовых ресурсов горного оледенения, 2020/21 г. оказался относительно благоприятным для изучаемых ледников. По предварительным оценкам вещественный баланс Джанкуата в этот год приближается к нулевому, а сам сезон 2020/21 г. можно квалифицировать как самый благоприятный для существования ледника за минувшие 15 лет. На киргизских ледниках Внутреннего Тянь-Шаня отрицательные значения баланса массы по модулю также оказались меньше среднемноголетних норм за счёт уменьшенной абляции. Все количественные значения показателей внешнего массообмена кавказских и тянь-шанских ледников вошли составной частью в ежегодный национальный отчёт для Всемирной службы мониторинга ледников (<https://wgms.ch/latest-glacier-mass-balance-data>), пополнив базы данных геоинформационных систем как глобального, так и локального уровней. Произведено полевое радиолокационное зондирование крупнейшего ледника плоской вершины тянь-шанского ледника Григорьева.

Н.А. Володичевой и А.Д. Олейниковым в 2020/2021 г. продолжен цикл зимних снеголавинных наблюдений (ноябрь-апрель) в Приэльбрусье на Эльбрусской учебно-научной базе МГУ. Как показали инструментальные наблюдения, последнее десятилетие 2011-2020 гг. оказалось самым теплым в исследуемом регионе, где было отмечено 8 аномально теплых зим, 1 - аномально холодная, 1 – в пределах климатической нормы. Зима 2020/21 г. не нарушила общего тренда в потеплении. Температура холодного периода оказалась близка к климатической норме. Количество выпавших осадков существенно превысило норму, приблизившись к границе аномально увлажненной зимы (Кускова и др., 2021). Распределение осадков характеризовалось асимметрией - 70% выпало во вторую половину зимы. По снежности зима 2020/21 г. отнесена к неравномерно снежным с ярко выраженным пиком снегонакопления также во второй половине сезона и к зимам средней лавинной опасности. Сходившие лавины останавливались в пределах минеральных конусов выноса и не представляли угрозы для инфраструктуры Баксанской долины.

С.А. Сократовым собраны данные по высоте снежного покрова в различных снеговых районах территории РФ с целью оценки соответствия распределений максимальной высоты за год определённому типу статистического распределения (доклад Сократов и др., 2021). Более чем в 50% проанализированных рядов станционных данных обнаружено соответствие или близость к нормальному распределению. В других случаях ряды были «искажены» относительно нормального, что можно объяснить влиянием температурных условий на аккумуляцию снежного покрова. Продолжена разработка алгоритма для статистического моделирования объёмов и дальностей выброса снежных лавин в зависимости от параметров снегонакопления и геометрии лавиносборов.

Н.В. Коваленко, Д.А. Петраковым с аспирантами кафедры продолжены ежегодные мониторинговые исследования на леднике Колка. Получены данные за 2019-2021 гг. с камер слежения которые производят общую съемку ледника раз в 3 часа. С 2002 г. объем ледника Колка увеличился более чем на 50 млн м³. На фоне сокращения кавказских ледников этот ледник продолжает набирать массу.

Д.А. Петраковым продолжен цикл работ по изучению причин и последствий изменений Башкаринских приледниковых озер. Выявлена роль аномалии жидких осадков в прохождении паводков в бассейне Баксана в начале сентября 2017 г. Совместно с коллегами с кафедры гидрологии суши и ИВП РАН проведена оценка вклада прорывного селя в пиковый расход Баксана (Kornilova et al., 2021).

М.А. Викулиной опубликована работа по истории исследований, в том числе гляциологических, на Хибинской учебно-научной базе Географического факультета МГУ (Vikulina et al, 2021). Проведены экспедиционные работы по изучению динамики малых форм оледенения в Хибинах. Анализ космических снимков за последние 15 лет показал значительные изменения размеров ледников, но в отличие от других арктических регионов, хибинские ледники не сокращаются, а достаточно стабильны. Длительное существование малого оледенения в данном районе подтверждает гипотезу об устойчивом состоянии подобных образований несмотря на климатические изменения (Викулина и др., 2021).

А.С. Турчаниновой, С.А. Сократовым и Д.И. Коровиной впервые выполнена качественная и количественная оценка эффективности противолавинных мероприятий для территории горнолыжного комплекса «Красная Поляна», основанная на математическом моделировании снежных лавин с разными заданными условиями лавинообразования (Коровина и др., 2021). Математическое моделирование лавин выполнено в программе RAMMS. Для рассматриваемой территории искусственно регулируемый сброс лавин (в основном осуществляемый системами Gazex®) наиболее эффективен. Снегоудерживающие сооружения часто не выполняют свои функции, в то время как дамбы и лавинорезы могут быть эффективными только в комплексе с искусственно регулируемым сбросом лавин. Выявлены зоны, где искусственно регулируемые лавины, имеющие меньшие дальности выброса по отношению к возможным естественным лавинам, всё равно могут быть опасными для существующей инфраструктуры в связи с большими значениями скорости и давления.

М.Н. Ивановым продолжены исследования современной дегляциации Полярного Урала. Выполнены первые за десятилетие экспедиционные исследования аккумуляции снежного покрова на леднике ИГАН на весеннем максимуме снегонакопления. Результаты исследования показывают, что величина снегонакопления близка к средним значениям за период проведения масс-балансовых наблюдений на леднике ИГАН (1957-1981 гг). Продолжено исследование конечных морен при помощи электротомографии для мониторинга ледяных ядер и оценки прорывоопасности моренно-подпрудных озёр.

Публикации:

1. Викулина М.А., Зимин М.В., Романенко Ф.А. Оценка состояния малого оледенения в Хибинах // ИнтерКарто. ИнтерГИС, 2021, том 27, № 1. С. 409-417.
2. Гребенец В.И., Кизяков А.И., Маслаков А.А., Сократов С.А., Стрелецкая И.Д., Толманов В.А., Юров Ф.Д. Влияние опасных криогенных процессов на инфраструктуру городов в Арктике // Вестник Московского университета. Серия 5: География. В печати
3. Коровина Д. И., Турчанинова А.С. and Сократов С.А. Оценка эффективности противолавинных мероприятий на горнолыжном курорте Красная Поляна. Лед и снег 61, 3 (2021), 359–376 DOI: 10.31857/S2076673421030094
4. Куксова Н.Е., Торопов П.А., Олейников А.Д. Метеорологические условия экстремального лавинообразования в горах Кавказа по данным наблюдений и реанализов. // Лед и снег. Т.61, №3, 2021, С.377-390.
5. Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Глазовская Т.Г. К вопросу выполнения снеголавинных расчетов при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий. Доклад, XVI Общероссийская научно-практическая конференция «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», онлайн, Россия, 1-3 декабря 2021
6. Стрелецкая И.Д., Письменюк А.А., Васильев А.А., Гусев Е.А., Облогов Г.Е., Задорожная Н.А. Формирование льдистых отложений и подземных льдов в позднем неоплейстоцене-голоцене на севере Западной Сибири. In Пути эволюционной географии – 2021: Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.) (2021), Институт географии РАН Москва, pp. 377–380.
7. Таратунина Н.А., Рогов В.В., Стрелецкая И.Д., Курчатова А.Н., Янина Т.А., Курбанов Р.Н. Позднеплейстоценовый криогенез в Нижнем Поволжье на примере разреза Черный Яр. In Пути эволюционной географии – 2021: Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А.Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.) (2021), Институт географии РАН Москва, pp. 390–393.
8. Brouchkov A., Melnikov V., Griva G.I., Kashuba E., Kashuba V., Kabilov M., Fursova O., Bezrukov V., Muradian K., Potapov V., Pogorelko G., Fursova N., Ignatov S., Repin V., Kalenova L., Subbotin A., Trofimova Y. B., Brenner E.V., Filippova S., Rogov V. and Galchenko V. Microbiomes of Extreme Environments. Biodiversity and Biotechnological Applications/. Edited By Ajar Nath Yadav, Ali Asghar Rastegari, Neelam Yadav. 6000 BROKEN SOUND PARKWAY NW, STE 300, BOCA RATON, USA, FL, 33487-2742, 6000 BROKEN SOUND PARKWAY NW, STE 300, BOCA RATON, USA, FL, 33487-2742, 2021. DOI: 10.1201/9780429328633

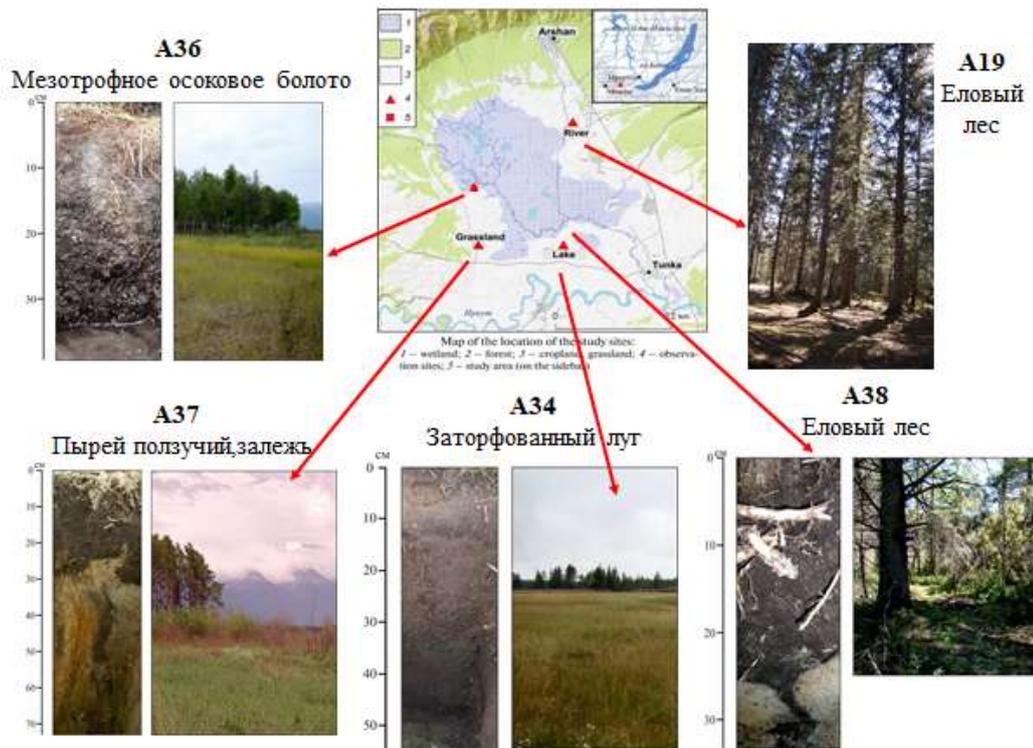
9. Grebenets V.I., Tolmanov V.A., Iurov F.D. and Groisman P.Y. The problem of storage of solid waste in permafrost. *Environmental Research Letters* 16, 10 (2021), 105007. DOI: 10.1088/1748-9326/ac2375
10. Kornilova E.; Krylenko I.; Rets E.; Motovilov Y.; Bogachenko E.; Krylenko I.; Petrakov D. Modeling of Extreme Hydrological Events in the Baksan River Basin, the Central Caucasus, Russia. *Hydrology* 2021, 8, 24
11. Leibman M., Kizyakov A., Zhdanova Y., Sonyushkin A. and Zimin, M. Coastal retreat due to thermodenudation on the Yugorsky Peninsula, Russia during the last decade, update since 2001–2010. *Remote Sensing* 13, 20 (2021), 4042–4042. DOI: 10.3390/rs13204042
12. Maslakov A., Zotova L., Komova N., Grishchenko M., Zamolodchikov D. and Zelensky G. Vulnerability of the permafrost landscapes in the eastern chukotka coastal plains to human impact and climate change. *LAND* 10, 5 (2021), 445. DOI: 10.3390/land10050445
13. Maslakov A., Sotnikova K., Gribovskii G., Evlanov D. Thermal modeling of ice cellars as a basis for food security and energy sustainability of isolated indigenous communities in the Arctic // *Energies*, 2021, in press.
14. Rogov V.V., Kurchatova A.N. and Taratunina N.A. Types and micromorphology of authigenic carbonates in the kolyma yedoma ice complex, northeast siberia. *FRONTIERS IN EARTH SCIENCE* 9 (2021). DOI: 10.3389/feart.2021.718904
15. Ryabukha A.G., Streletskaia I.D., Polyakov D.G., Kovda I.V. and Yakovlev I.G. Relict cryogenic structures in the landscapes of orenburg region, russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 817 (2021), 012093. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012093
16. Shmelev D., Cherbunina M., Rogov V., Opfergelt S., Monhonval A. and Strauss J. Reconstructing permafrost sedimentological characteristics and post-depositional processes of the yedoma stratotype duvanny yar, siberia. *FRONTIERS IN EARTH SCIENCE* 9 (2021), 727315. DOI: 10.3389/feart.2021.727315
17. Strauss J., Laboor S., Schirrmeister L., Fedorov A.N., Fortier D., Froese D., Fuchs M., Günther F., Grigoriev M., Harden J., Hugelius G., Jongejans L.L., Kanevskiy M., Kholodov A., Kunitsky V., Kraev G., Lozhkin A., Rivkina E., Shur Y., Siegert C., Spektor V., Streletskaia I., Ulrich M., Vartanyan S., Veremeeva A., Anthony K.W., Wetterich S., Zimov N. and Grosse G. (2021) Circum-Arctic Map of the Yedoma Permafrost Domain. *Front. Earth Sci.* 9:758360. doi: 10.3389/feart.2021.758360
18. Streletskaia I.D., Pismeniuk A.A., Vasiliev A.A., Gusev E.A., Oblogov G.E. and Zadorozhnaya, N. A. The ice-rich permafrost sequences as a paleoenvironmental archive for the kara sea region (western arctic). *FRONTIERS IN EARTH SCIENCE* 9 (2021). DOI: 10.3389/feart.2021.723382
19. Taratunina N., Rogov V., Streletskaia I., Thomson W., Kurchatova A., Yanina T. and Kurbanov R. Late pleistocene cryogenesis features of a loess-paleosol sequence in the srednyaya akhtuba reference section, lower volga river valley, russia. *Quaternary International* 590 (2021), 56–72. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.12.015
20. Vasil'chuk Yu.K., Maslakov A.A., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C., Komova N.N. Isotope Signature of the Massive Ice Bodies on the Northeast Coast Of Chukotka Peninsula // *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*, 2021. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-020
21. Vikulina M.A., Vashchalova T.V., Tutubalina O.V., Rees W.G., Zaika Y.V. Moscow University's field station in the Khibiny Mountains, Russian Arctic: A 70-year history to the present day. *Polar Record*, Cambridge University Press (United Kingdom), 2021, № 57, pp. 1-12.
22. Zotova L.I. Landscape indication of permafrost conditions for geocological assessment & mapping at various scales. *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY* (2021). DOI: 10.24057/2071-9388-2021-039

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (Иркутск)

<http://www.irigs.irk.ru/>

Сотрудниками Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН и Санкт-Петербургского государственного университета проводятся совместные исследования на территории Койморского озерно-болотного комплекса в Тункинской котловине (юго-западное Прибайкалье, Республика Бурятия, зона островного распространения многолетней мерзлоты). Геологическое строение территории, гидрогеологические условия, локальный климат и островная многолетняя мерзлота способствовали заболачиванию

Начиная с 2011 г. в автоматическом режиме проводятся микроклиматические измерения (5 площадок наблюдения). Используется атмосферно-почвенный измерительный комплекс (разработка и производство ИМКЭС СО РАН). Фиксируются температура и влажность воздуха, температура почвы в скважинах от поверхности до 3,2-7 м. Согласно результатам измерений (2011-2021 гг.), температура многолетнемерзлых почв в течение года изменяется в диапазоне -3,5 ... -0,5°C. Летом глубина протаивания не превышает 1-1,2 м.



Проведены наблюдения за особенностями обводнения Тункинской котловины. В дополнение к ранее полученным образцам почвы и данным о динамике температуры были выполнены геофизические, гидрологические и торфяные исследования. Мощность торфа колеблется от 20-30 см на границе водосбора и достигает 63-85 см в центральной части. Дно заболоченного участка песчаное. Особенности минерального питания способствуют накоплению болотного торфа. Торфяные залежи состоят из различных осок, трав и зеленых мхов. Выявлены осоковый и гипново-мохово-осоковый торф.



Профили георадаров (площадка А-34) ясно показывают слой многолетней мерзлоты на глубине 60-65 см вокруг исследуемого озера с водосбором водно-болотных угодий и на глубине 90-95 см - в лесном ландшафте у реки (площадка А-19). Дно многолетней мерзлоты определено георадаром на глубине около 5 м. Георадиолокационные измерения подтверждены результатами бурения. На территории антропогенно-модифицированных (площадка А-37) и подвергшихся пожару ландшафтов в пределах озерно-болотного комплекса по геофизическим (геофизическим) данным многолетняя мерзлота в 10-15 м слое не фиксируется.

Исследования Койморских водно-болотных угодий Тункинской котловины будут продолжены. Изменения толщи многолетней мерзлоты и толщины активного слоя в результате изменения климата и / или антропогенного воздействия привели к недавней трансформации ландшафта, а также к некоторой динамике водного режима исследуемой территории.

Публикации:

1. Kashkevich M, Galanina O., Voropay N., Parshina T., Fedorova I. Geocological studies of the Tunkinskaya depression (Buryatia, Russia) // International Online Symposium “Focus Siberian Permafrost - Terrestrial Cryosphere and Climate Change”, organized by Institute of Soil Science, Universität Hamburg, 24 – 25 March 2021. – P. 54.
2. Галанина О. В., Федорова И. В., Воропай Н. Н., М. П. Кашкевич, Паршина Т. В. Койморские водно-болотные угодья (Прибайкалье) // Материалы конференции «XI Галкинские Чтения» (Санкт-Петербург, 21 апреля 2021 г.). СПб.: БИН РАН, 2021. – С. 63-66.
3. Воропай Н. Н., Кашкевич М. П., Черкашина А.А., Галанина О.В., Паршина Т.В., Федорова И. В. Температурный режим многолетнемерзлых болот Тункинской котловины // Западносибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее Материалы Шестого Международного полевого симпозиума (28 июня – 08 июля 2021 г., Ханты-Мансийск, Россия) – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2021.

Наиболее интересные и важные статьи из журнала «Криосфера Земли»

(<http://earthcryosphere.ru/>, архив: <http://earthcryosphere.ru/arch/>) **2021 г.**

(№1/2021)

1. ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ПЕСЧАНЫЕ ПОКРОВЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ): СТРОЕНИЕ, ФАЦИАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

А.А. Галанин

Институт мерзлотоведения СО РАН им. П.И.Мельникова; 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; agalalin@gmail.com

Комплексное доизучение обнажения Песчаная Гора и других разрезов покровных эоловых песков в Центральной Якутии показывает, что они вместе с лессово-ледовыми (едомными) покровами являются двумя родственными гранулометрическими и минералогическими дериватами, сформировавшимися в результате эоловой переработки четвертичного аллювия на протяжении второй половины позднего неоплейстоцена. Эпизоды опустынивания имели место 22.0-14.0, 12.8-11.8 и 0.6-0.1 тыс. л.н. Снижение эоловой активности и закрепление дюнных массивов почвенно-растительным покровом происходили в интервалах 14.0-13.0, 10.0-0.6 тыс. л.н. Наиболее крупный эпизод опустынивания имел место во время последнего глобального термического минимума (МИС-2) и привел к резкому сокращению численности мамонтового биома, исчезновению шерстистого мамонта и носорога в Центральной Якутии.

Дюны, покровные пески, дьолжуминская свита, криогенно-эоловая и нивейно-эоловая слоистость, поздний неоплейстоцен, бёллинг, аллерёд, дриас, Якутия.

(№2/2021)

2. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДИ МОРСКИХ ЛЬДОВ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЯМИ ХАРАКТЕРИСТИК ИНСОЛЯЦИИ

В.М. Фёдоров, П.Б. Гребенников

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия; fedorov.msu@mail.ru

Выполнен корреляционный анализ многолетней динамики площади морских льдов в Северном полушарии с характеристиками инсоляции, рассчитанными с высоким пространственным разрешением. Для периода с 1901 по 2018 гг. найдены тесные отрицательные связи многолетних изменений площади морских льдов в ячейках размером 1° x 1° с зимней инсоляцией и инсоляционной контрастностью. Построены карты распределения тесноты связи многолетних изменений площади морских льдов с характеристиками инсоляции для средних годовых, полугодовых и месячных (март, сентябрь) значений площади морских льдов. Показано, что связь многолетних изменений распространения морских льдов в Северном полушарии с инсоляционной контрастностью является причинно-следственной и инсоляционная контрастность может быть предиктором в статистических моделях динамики морских льдов. Определено, что на всем протяжении Северный морской путь характеризуется тесными связями распространения морских льдов с инсоляционной контрастностью. Это создает перспективы долгосрочного прогнозирования площади распространения морских льдов для Северного морского пути на основе выполненных в будущем расчетов инсоляционной контрастности для Северного полушария.

Площадь морских льдов, сезонная, межгодовая и многолетняя изменчивость, инсоляция, инсоляционная контрастность, корреляционный анализ, Северный морской путь

(№2/2021)

3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В СВЯЗИ С МЕХАНИЗМОМ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СДВИЖКИ

Я.Б. Горелик¹, А.Х. Хабитов²

¹ Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия, gorelik@ikz.ru

² ПАО «Гипротюменнефтегаз», Тюмень, Россия, prof.power@yandex.ru

Выполнен анализ эффективности поверхностных способов охлаждения мерзлых грунтов на основе общетеоретических представлений о формировании температурной сдвижки при сезонных процессах в верхних слоях мерзлого грунта. По результатам анализа предложен способ охлаждения основания сооружения с проветриваемым подпольем, включающий слой теплоизоляции на поверхности грунта и естественно-конвективную охлаждающую систему с горизонтальным испарителем, трубы которого укладываются под теплоизоляционный слой. Конденсатор охлаждающей системы вынесен за пределы контура сооружения и в зимнее время обеспечивает температуру испарителя близкую к температуре воздуха, независимо от условий внутри подполья. Методами математического моделирования показано, что предлагаемый способ обеспечивает значительное и быстрое понижение температуры в основании по сравнению с известными способами – на 1-2.5°C за время не более 1.5 года вместо 3-5 лет. К испарителю системы кратковременно, в течение одного летнего сезона, может быть подключен агрегат принудительного охлаждения, что позволяет получить дополнительное понижение температуры величиной до 1.5°C. Результаты расчетов позволяют предложить наилучшую последовательность подключения охлаждающих элементов системы на начальном этапе ее работы.

Мерзлые грунты, слой сезонного оттаивания, температурный режим грунта, теплоизоляционный слой, система охлаждения ГЕТ, принудительное охлаждение, время релаксации к проектному температурному режиму

(№2/2021)

4. РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОРФЯНО-МИНЕРАЛЬНОЙ ГРЯДЫ ПУЧЕНИЯ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. НАДЫМ

О.С. Сизов¹, А.А. Юртаев², А.В. Соромотин², Е.М. Копцева³, А.О. Вольвах⁴, Е.В. Абакумов³, Н.М. Бердников⁵, Н.В. Приходько², Д.С. Гурьев⁶

¹ Институт проблем нефти и газа РАН, 119333, Москва, ул. Губкина, 3, Россия; kabanin@yandex.ru

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

³ Санкт-Петербургский государственный университет, 199178, Санкт-Петербург, 16-я линия В.О., 29, Россия

⁴ Институт геологии и минералогии СО РАН им. В.С. Соболева, 630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, Россия

⁵ Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, 30/6, Россия

⁶ ООО «Северавтотдор», 629730, ЯНАО, Надым, ул. Комсомольская, 10Б, Россия

Представлены новые данные о криолитологическом строении типичной для севера Западной Сибири гряды пучения, расположенной в нижнем течении р. Надым. Данные получены в результате бурения двух скважин, на вершине гряды и в межгрядовом понижении, и последующего анализа керна. Определены гранулометрический состав, форма и характер поверхности песчаных кварцевых зерен, ботанический состав и радиоуглеродный возраст органогенных отложений. Установлено трехслойное торфяно-песчано-суглинистое строение гряды. Пучению подвержен нижний суглинистый горизонт с объемной льдистостью около 60%, ниже которого залегают слои чистого льда. Гряда пучения имеет преимущественно миграционный генезис, при дополняющем влиянии инъекций льда, и относится к торфяно-минеральному типу. В формировании гряды пучения выделены этапы накопления суглинистых и песчаных отложений в конце позднего плейстоцена, заболачивание произошло в начале голоцена (10.6-9.8 тыс. л.н.), активное пучение – в суббореальную стадию (5.5-5 тыс. л.н.). В настоящее время наблюдается уменьшение верхнего органического горизонта и развитие процессов эрозии. Предложено рассматривать торфяно-минеральные и минеральные формы пучения (бугры и гряды) как отдельный тип криогенного рельефа.

Бугор пучения, многолетнемерзлые породы, криолитозона, верхнечетвертичные отложения, Надымское Приобье

(№3/2021)

5. ЗОНА СТАБИЛЬНОСТИ ГИДРАТОВ МЕТАНА В РАЙОНЕ СРЕДНЕВИЛЮЙСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВИЛЮЙСКАЯ СИНЕКЛИЗА)

А.Д. Дучков¹, В.П. Семенов², Л.С. Соколова¹, А.И. Сивцев³

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, просп. акад. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия, duchkovad@ipgg.sbras.ru

² Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, Якутск, 677010, Россия, semenov.vp@rambler.ru

³ ООО "Таас-Юрях Нефтегазодобыча" ул. Аммосова, 18, Якутск, 677018, Россия, sivtsevai@tyngd.rosneft.ru

Представлены результаты определения нижней границы зоны стабильности гидратов метана по геотермическим измерениям в 22 скважинах Средневилюйского газоконденсатного месторождения.

Применен графический метод, заключающийся в сопоставлении термограмм с фазовой диаграммой, характеризующей равновесные условия образования для газа, содержащегося в верхних залежах месторождения. В настоящее время верхние газовые залежи месторождения (глубина 1035 и 1057 м), располагаются ниже зоны стабильности всего на 60-70 м. Выполнена примерная оценка изменений расположения нижней границы зоны стабильности гидратов метана в позднем неоплейстоцене-голоцене. Показано, что в холодные периоды (~130 и 15 тыс. лет назад) зона стабильности могла опускаться ниже верхних газовых залежей Средневилюйского месторождения на 20-50 м.

Вилюйская синеклиза, Средневилюйское газоконденсатное месторождение, многолетнемерзлая толща, зона стабильности гидратов метана, границы зоны стабильности в позднем неоплейстоцене-голоцене

(№3/2021)

6. РАСЧЁТ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕПЛОвого БАЛАНСА ЛЕДНИКА АЛЬДЕГОНДА (О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН) В ПЕРИОД АБЛЯЦИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ 2019 ГОДА **У.В. Прохорова¹, А.В. Терехов¹, Б.В. Иванов^{1,2}, С.Р. Веркулич¹**

¹ *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38, Россия; uliana@niersc.spb.ru*

² *Санкт-Петербургский государственный университет, 199011, Университетская наб. 7/9.*

В статье описан расчёт компонентов теплового баланса поверхности для горно-долинного ледника Альдегонда (о. Западный Шпицберген) на основе физической модели с распределёнными параметрами. В качестве исходных использованы данные метеорологических и актинометрических наблюдений на леднике в период абляции 2019 года, цифровая модель рельефа, а также данные дистанционного зондирования для оценки отражательных характеристик поверхности. В результате моделирования получено пространственное распределение значений потока тепла, затрачиваемого на таяние, с разрешением в одни сутки. По расчётам, средний за период радиационный баланс составил 89 Вт/м², что примерно на порядок больше притока тепла от турбулентных потоков (11 Вт/м²). Для верификации результатов использованы данные гляциологического масс-балансового мониторинга на основе абляционных реек. Показано, что прогнозируемые величины слоя стаявшего льда достаточно хорошо согласуются с измерениями по рейкам. Несмотря на то, что модель систематически завышает величину таяния, среднее по леднику значение не выходит за пределы доверительного интервала наблюдаемой величины. Так, средняя по поверхности ледника абляция, полученная на основе модели, составила 698 мм в.э./мес., а по рейкам — 610±150 мм в.э./мес.

Шпицберген, горный ледник, абляция, тепловой баланс, физическое моделирование

(№3/2021)

7. ДИНАМИКА ПРИРОДНОЙ ОБСТАНОВКИ И МОРФОЛИТОГЕНЕЗ НА МЕЛКОВОДЬЯХ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ АРКТИКИ

А.В. Гаврилов, Е.И. Пижанкова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический ф-т, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Россия; gavrilov37@bk.ru

Мелководья морей Лаптевых и Восточно-Сибирского сформировались на месте размывавшихся в XVII-XX вв. островов-останцов ледового комплекса позднего неоплейстоцена, приуроченных к положительным морфоструктурам. В статье рассматриваются факторы, определяющие современное осадконакопление на мелководьях с образованием островов (Яя, Наносный, Затопляемый, Лейкина и др.). Такими факторами являются сокращение площади морских льдов, увеличение продолжительности безлёдного сезона и активизация деструктивных криогенных процессов, инициированных современным потеплением климата. Снижение ледовитости привело к преобладанию гидродинамических процессов в осадконакоплении в отличие от приоритетной роли в этом процессе морских льдов в XVII-XIX веках. Недостаток осадочного вещества в указанные века сменяется его избытком за счет активизации криогенных процессов на рубеже XX и XXI вв. В результате термоабразионный профиль подводного склона на мелководьях трансформируется в аккумулятивный. Осадконакопление происходит на фоне повышения уровня моря в связи с потеплением климата. Повышение поверхности островов и банок регистрируется на космических снимках там, где имеют место современные положительные вертикальные движения. Образование островов и банок сопровождается их синкриогенезом.

Морфолитогенез, осадконакопление, морфоструктуры, современное потепление климата, дистанционные данные, мелководья

(№4/2021)

8. КРИОСТРАТИГРАФИЯ И КРИОФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В.Е. Тумской

Институт мерзлотоведения СО РАН; 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; vtumskoy@gmail.com

В статье рассматривается актуальная теоретическая проблема расчленения толщ мерзлых четвертичных образований для целей реконструкции истории их развития, стратиграфии и картирования. Для этого обосновано использование криофациального и криоформационного методов. Криостратиграфия

рассматривается как новое научное направление на стыке криолитологии и климатостратиграфии. Определены понятия «криофация», «криогенный контакт», «криогенная формация», выделены характерные типы криогенного строения криофаций и криогенных контактов. Предложена последовательность криолитологических исследований от первичного расчленения мерзлых толщ до решения криостратиграфических задач. Показано соотношение криостратиграфии и палеокриостратиграфии.

Криостратиграфия, климатостратиграфия, криофация, криогенное строение, криогенный контакт, криогенная формация

(№5/2021)

9. МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛАНСА МАССЫ ЛЕДНИКА САРЫ-ТОР (МАССИВ АК-ШИЙРАК, ВНУТРЕННИЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)

Е.П. Рец¹, Д.А. Петраков², Е.В. Белозеров¹, А.М. Шпунтова²

¹Институт водных проблем Российской академии наук, лаборатория гидрологии речных бассейнов, 119333, Москва ул. Губкина, 3; retska@mail.ru

²Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

Невозможность охвата прямыми масс-балансовыми наблюдениями большого количества ледников диктует необходимость развития альтернативных способов оценки баланса. Одним из таких способов является физико-математическое моделирование, быстро развиваемое во всем мире. В рамках данного исследования было проведено моделирование баланса массы долинного ледника Сары-Тор за 2003-2016 гг. Для этого была использована адаптация физико-математической модели таяния снега и льда в высокогорной зоне A-Melt, изначально разработанной для условий Северного Кавказа, к условиям континентальных ледников. В расчетную схему был добавлен блок процессов, происходящих в снежной толще и на границе снег-лед: 1) передача тепла методом молекулярной теплопроводности, в том числе в активном слое ледника; 2) фильтрация воды через снег и в толщу фирна; 3) повторное замерзание воды в толще снега, на границе снег-лед и в фирновой толще. Проведена верификация результатов моделирования: 1) по данным натурных наблюдений на сети рек; 2) по результатам применения геодезического метода для расчета баланса массы ледника. Проведен анализ реалистичности принятых значений калибровочных параметров и достоверности воспроизведения моделью пространственного распределения аккумуляции на леднике. Сопоставление элементов динамики ледника Сары-Тор по результатам моделирования в 2003-2016 гг. с измеренными в 1985-1989 гг. позволило выявить их климатически обусловленные изменения.

Моделирование баланса массы, ледники, Тянь-Шань, модель A-Melt

(№6/2021)

10. АДАПТАЦИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ К ИЗМЕНЕНИЯМ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

В.П. Мельников^{1,2,3,4}, В.И. Осипов⁵, А.В. Брушков⁶, С.В. Бадина^{7,8}, Д.С. Дроздов^{1,9,10}, В.А. Дубровин¹⁰, М.Н. Железняк¹¹, М.Р. Садуртдинов¹, Д.О. Сергеев⁵, С.Н. Окунев¹², Н.А. Остарков¹³, А.Б. Осокин¹⁴, Р.Ю.Федоров^{1,2}

¹ Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия; melnikov@ikz.ru

² Отдел методологии междисциплинарных исследований криосферы Тюменского научного центра СО РАН, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия

³ Тюменский государственный университет, 625003, Тюмень, ул. Семакова 10, Россия

⁴ АНО "Губернская академия", ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026 Россия

⁵ Институт геоэкологии им Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., 13, стр. 2, Россия

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический ф-т, кафедра геокриологии, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия

⁷ ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», 117997, Москва, Стремянный пер., д. 36, Россия

⁸ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т, лаборатория геоэкологии Севера, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия

⁹ Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе (МГРИ), 117997, Москва, ул. Миклухо Маклая, 23, Россия

¹⁰ ФГБУ «Гидроспецгеология», 123060, Москва, ул. Маршала Рыбалко, д. 4, Россия

¹¹ Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36, Россия

¹² ООО НПО «Фундаментстройаркос», 625014, Тюмень, ул. Новаторов 12а, Россия

¹³ Министерство по развитию Дальнего Востока и Арктики, 119121, Москва, ул. Бурденко, д. 14, Россия

¹⁴ ИТЦ ООО «Газпром добыча Надым», 629730, г. Надым, ул. Пионерская, д. 14, Россия

Проблема устойчивого развития экономики остро проявляется в арктических регионах, что обусловлено уязвимостью арктической инфраструктуры при изменении климата и трансформациях ландшафтов. Рассмотрены причины деформаций зданий и сооружений в Российской Арктике. Обозначены проблемы и перспективы развития сети мониторинга криолитозоны как основы для разработки технических решений по адаптации инфраструктуры Арктики к климатическим изменениям. Приведен анализ технологических решений управления и обеспечения надежности несущей способности оснований методами регулирования

состояния многолетнемерзлых грунтов, выполнен предварительный анализ экономической эффективности защитных мероприятий, стоимость которых, по крайней мере, на порядок менее предполагаемого к середине столетия ущерба инфраструктуре.

Арктическая зона Российской Федерации, многолетнемерзлые грунты, изменения климата, адаптация инфраструктуры, термостабилизация