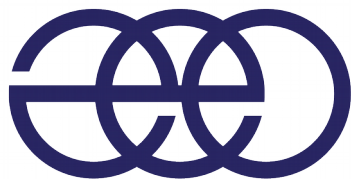


ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ

Российской академии наук



основан в 1918 году

Институт географии

Российской академии наук

Гляциологическая ассоциация

**Тезисы докладов всероссийской конференции
«Междисциплинарные научные исследования в целях освоения
горных и арктических территорий»**

г. Сочи

24–29 сентября 2018 года

Под редакцией В.М. Котлякова и А.Я. Муравьева

Научная программа всероссийской конференции «Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий», Сочи, 24–29 сентября 2018 года

Подчеркнуты фамилии докладчиков

23 сентября с 17 до 19 часов – Регистрация участников конференции в гостинице «Маринс Парк Отель»

24 сентября

8:00–13:00	Регистрация участников конференции в гостинице «Маринс Парк Отель»
9:00–9:20	Открытие конференции. Президент Гляциологической ассоциации академик В.М. Котляков
Российские исследования полярных территорий. Председатель В.М. Котляков	
9:20–9:50	<i>К 200-летию открытия Антарктиды экспедицией Беллинсгаузена – Лазарева. <u>Котляков В.М.</u>, Глазовский А.Ф., Москалевский М.Ю. Динамика Антарктического ледникового покрова в эпоху потепления</i>
9:50–10:10	<i><u>Фролов И.Е.</u> Современное состояние и перспективы развития сети наблюдений природных процессов</i>
10:10–10:30	<i><u>Большаков Д.Ю.</u>, Макаров А.С. Новые данные о голоценовых колебаниях уровня моря в Арктике и Антарктике</i>
10:30–10:50	<i><u>Макштас А.П.</u>, Кустов В.Ю., Богородский П.В., Большакова И.И., Жукова О.Л., Лоскутова М.А., Махотина И.А. Результаты и перспективы гидрометеорологических исследований на российских арктических обсерваториях</i>
10:50–11:20	<i>Перерыв на кофе</i>
11:20–11:40	<i><u>Кравцова В.И.</u>, Пижанкова Е.И., Кизяков А.И., Гаврилов А.В. Космические снимки в новом Атласе Российской Арктики</i>
12:00–12:20	<i><u>Лейченко Г.Л.</u>, Баженова Е.А. Изучение рельефа морского дна в Антарктике: научная значимость и перспективы исследований в РАЭ</i>
12:20–13:00	Представление стендовых докладов: <i>Докладчики, готовящие стендовый доклад, делают небольшую презентацию, передающую его суть. Это 3–4 слайда на 2–3 минуты.</i> 1. <u>Афанасьева В.К.</u> , Хилленбранд К.-Д., Клагес Й.Ф., Кун Г., Лейченко Г.Л. Динамика ледника Пайн-Айленд (Западная

	<p>Антарктика) в позднем голоцене</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Белолуцкая М.А., Ревич Б.А., <u>Анисимов О.А.</u> Влияние волн жары и холода на здоровье населения северных городов 3. Боронина А.С., <u>Суханова А.А.</u>, Григорьева С.Д., Пряхина Г.В., Попов С.В. Гидрологическая характеристика потенциально прорывоопасных озёр полуострова Брокнес, Восточная Антарктида 4. <u>Гребенец В.И.</u>, Толманов В.А. Влияние опасных нивально-гляциальных и криогенных процессов на геотехническую стабильность в городах Арктики 5. <u>Облогов Г.Е.</u>, Васильев А.А., Стрелецкая И.Д. Реконструкция палеогеографических условий на шельфе и побережье Карского моря в сартанское время (МИС 2) 6. <u>Попов Г.В.</u>, Седухин П.В. Полевые испытания дистанционной лазерной снегомерной рейки 7. Попов С.В., Боронина А.С., <u>Суханова А.А.</u>, Харитонов В.В., Пряхина Г.В., Кашкевич М.П. Перспективы радиолокационных зондирований подледниковых водоёмов 8. <u>Толманов В.А.</u>, Гребенец В.И. Влияние опасных нивально-гляциальных и криогенных процессов на линейно-техногенные системы Российской Арктики 9. <u>Устинова Е.В.</u>, Пономарева О.Е. Природные и техногенные процессы в криолитозоне, антропогенные факторы их активизации 10. <u>Юров Ф.Д.</u>, Гребенец В.И. Прогноз развития опасных криогенных процессов на территории Ванкорского месторождения при потеплении климата
13:00–15:00	<i>Перерыв на обед</i>
Подземные льды и подводная мерзлота. <i>Председатель Д.С. Дроздов</i>	
15:00–15:20	<u>Шполянская Н.А.</u> Криосфера Российской Арктики – отражение современного этапа колебательного развития климата
15:20–15:40	Григорьева С.Д., Боронина А.С., Кашкевич В.И., Кашкевич М.П., Попов С.В., Пряхина Г.В., <u>Суханова А.А.</u> Георадарные исследования подледной гидросети ледника Долк (Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида)
15:40–16:00	<u>Васильев А.А.</u> , Стрелецкая И.Д., Облогов Г.Е., Малкова Г.В., Дроздов Д.С., Пономарева О.Е. Деградация континентальной и субаквальной криолитозоны западного сектора Российской Арктики при изменении климата
16:00–16:20	<u>Малкова Г.В.</u> , Садуртдинов М.Р., Скворцов А.Г., Царев А.М., Коростелев Ю.В., Судакова М.С. Распространение и динамика островной мерзлоты в пойме реки Печора. Результаты комплексного геокриологического и геофизического мониторинга в Ненецком автономном округе
16:20–16:40	<u>Григорьев М.Н.</u> , Максимов Г.Т. Распространение подводной мерзлоты на шельфе арктических морей
16:40–17:00	Гаврилов А.В., <u>Пижанкова Е.И.</u> Потепление Арктики и криоморфодинамика мелководий морей Восточно-Сибирского и

	Лаптевых
17:00–17:20	<u>Воропай Н.Н.</u> , Киселев М.В., Черкашина А.А. Температурный мониторинг многолетнемерзлых грунтов в естественных и антропогенно-нарушенных условиях
17:20–17:40	<u>Дубровин В.А.</u> , <u>Дроздов Д.С.</u> Концепция изучения и сбережения многолетней мерзлоты в связи с освоением АЗРФ
17:40–18:00	<u>Слагода Е.А.</u> , Опокина О.Л. О возрасте многолетнемерзлых отложений и гетерогенных залежей льда Марре-Сале, Западный Ямал

25 сентября

Жизнь, ландшафты и хозяйственная деятельность людей в полярных районах. <i>Председатель О.А. Анисимов</i>	
9:00–9:20	<u>Анисимов О.А.</u> , Белолуцкая М.А., Жильцова Е.Л. Баланс природных и социально-экономических рисков и новых возможностей в арктической зоне России при изменении климата в 21 веке
9:20–9:40	<u>Максютова Е.В.</u> , Башалханова Л.Б. Влияние колебаний термического режима на жизнедеятельность населения заполярных территорий Сибири
9:40–10:00	<u>Бадина С.В.</u> Прогнозирование социально-экономических ущербов в ареалах деградации многолетнемерзлых пород Арктической зоны России
10:00–10:20	<u>Ильин Г.В.</u> , Усягина И.С. Радиоэкологические исследования в баренцевоморском прибрежье как элемент оценки радиационных рисков
10:20–10:40	<u>Кубышкин Н.В.</u> , Бузин И.В., Головин Н.В., Гудошников Ю.П., Замарин Г.А., Скутин А.А. Ледотехнические аспекты создания объектов транспортной инфраструктуры и разведочного бурения в Арктике
10:40–11:10	<i>Перерыв на кофе</i>
11:10–11:30	<u>Тумель Н.В.</u> , Зотова Л.И. Мерзлотно-ландшафтная информация как основа прогноза при потеплении Российской Арктики
11:30–11:50	<u>Хомутов А.В.</u> , Дворников Ю.А., Кизяков А.И., Лейбман М.О., Бабкина Е.А., Бабкин Е.М., Муллануров Д.Р., Хайруллин Р.Р. Термоденудационные процессы на Центральном Ямале: результаты мониторинга
11:50–12:10	<u>Бабкин Е.М.</u> , Хомутов А.В., Бабкина Е.А., Дворников Ю.А., Хайруллин Р.Р. Мониторинг изменения рельефа торфяника с вытаявающим полигонально-жильным льдом в районе с. Газ-Сале (ЯНАО)
12:10–12:30	<u>Бабкина Е.А.</u> , Хомутов А.В., Дворников Ю.А., Бабкин Е.М., Муллануров Д.Р., Лейбман М.О. Воронки газового выброса как

	следствие региональных и локальных изменений климата и теплового состояния пород
12:30–12:50	<u>Клим Д.О.</u> Динамика криоландшафтов в меняющихся условиях среды
12:50–14:50	<i>Перерыв на обед</i>
	Исследования в Арктике и криолитозоне. Председатель И.Е. Фролов
14:50–15:10	<u>Зазовская Э.П.</u> , Горячкин С.В., Шишков В.А., Мергелов Н.С., Долгих А.В., Милановский Е.Ю. Стабилизация органического вещества в почвах высоких широт в условиях быстрых климатических изменений
15:10–15:30	<u>Кузнецова А.О.</u> , Симонова Г.В., Афонин А.С., Тихонравова Я.В., Нарушко М.В., Слагода Е.А. Изотопный состав углерода современных растений в районах типичной и южной тундр Западной Сибири
15:30–15:50	<u>Шейкин И.Б.</u> , Фильчук К.В., Соколов В.Т. Некоторые результаты ледоисследовательских работ на дрейфующей станции СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-2015
15:50–16:10	<u>Андреев О.М.</u> , Виноградов Р.А., Драбенко Д.В. Влияние глобального потепления на прочностные характеристики льда в Обской губе
16:10–16:30	<u>Виноградов Р.А.</u> , Андреев О.М., Орлова Е.Ю. Распространение припая в эстуариях Оби и Енисея при глобальном потеплении
16:30–16:50	<u>Чистяков В.К.</u> Температурный режим бурения скважин в криолитозоне
16:50–17:10	<u>Георгиади А.Г.</u> , Кашутина Е.А., Милюкова И.П. Долговременные фазы многолетних изменений стока воды и тепла крупнейших арктических рек России
17:10–17:30	<u>Шикломанов А.И.</u> Современные тенденции и возможные причины изменений речного притока в Северный Ледовитый океан
17:30–17:50	<u>Sukhanova A.A.</u> , Popov S.V., Eberlein L., Scheinert M., Zirizzotti A., Urbini S., Kashkevich M.P., Pryakhin S.S. Structure of snow-firn layer in the Vostok Lake area and along the Progress-Vostok logistic traverse route, East Antarctica

26 сентября – на целый день экскурсия (для желающих) в Абхазию с посещением Гагры, озера Рица, Пицунды

27 сентября

Ледники полярных и горных районов. Председатель В.М. Котляков

9:00–9:20	<u>Глазовский А.Ф.</u> Современные изменения ледников Российской Арктики
-----------	--

9:20–9:40	<u>Большаинов Д.Ю.</u> , <u>Ёжиков И.С.</u> , <u>Парамзин А.С.</u> , <u>Фёдоров Г.Б.</u> , <u>Ильющенкова И.А.</u> , <u>Соколов В.Т.</u> Гляциологические и палеогляциологические исследования ААНИИ на архипелаге Северная Земля
9:40–10:00	<u>Лаврентьев И.И.</u> , <u>Глазовский А.Ф.</u> , <u>Мачерет Ю.Я.</u> , <u>Муравьев А.Я.</u> Запасы льда в ледниках на Земле Норденшельда, Шпицберген, и их изменения за последние десятилетия
10:00–10:20	<u>Носенко Г.А.</u> , <u>Иванов М.Н.</u> , <u>Синицкий А.И.</u> , <u>Никитин С.А.</u> , <u>Муравьев А.Я.</u> Современное состояние и изменения ледников Полярного Урала
10:20–10:40	<u>Хромова Т.Е.</u> , <u>Попова В.В.</u> , <u>Носенко Г.А.</u> , <u>Муравьев А.Я.</u> , <u>Никитин С.А.</u> Изменения размеров ледников и распределение основных климатических параметров в горных ледниковых районах на территории России (вторая половина XX – начало XXI века)
10:40–11:10	<i>Перерыв на кофе</i>
Горные ледники. Председатель А.Ф. Глазовский	
11:10–11:30	<u>Нечелюстов С.Г.</u> , <u>Харьковец Е.Г.</u> , <u>Селиверстов Ю.Г.</u> , <u>Сучилин А.А.</u> , <u>Турчанинова А.С.</u> , <u>Сократов С.А.</u> , <u>Комаров А.Ю.</u> , <u>Кудиков А.В.</u> , <u>О. Mustafa O.</u> , <u>Evangelista H.</u> Цифровые стереофотосъемки для исследования эволюции оледенения Эльбруса
11:30–11:50	<u>Торопов П.А.</u> , <u>Семенов В.А.</u> , <u>Алешина М.А.</u> , <u>Шестакова А.А.</u> Климатические факторы деградации оледенения Большого Кавказа в XX – XXI вв.
11:50–12:10	<u>Коновалов В.Г.</u> , <u>Рудаков В.А.</u> Вопросы мониторинга ледников на Северном Кавказе и Алтае
12:10–12:30	<u>Найденко А.А.</u> Изменение объема ледников Центрального Кавказа за последние 60 лет
12:30–13:00	Представление стендовых докладов: <i>Докладчики, готовящие стендовый доклад, делают небольшую презентацию, передающую его суть. Это 3–4 слайда на 2–3 минуты.</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Ананичева М.Д.</u> Ледники Чукотского нагорья – результаты полевых исследований 2017–18 гг. 2. <u>Керимов А.М.</u>, <u>Рототаева О.В.</u> Оценка качества поверхностных вод Приэльбрусья по содержанию тяжелых металлов 3. <u>Комаров А.Ю.</u>, <u>Селиверстов Ю.Г.</u>, <u>Турчанинова А.С.</u>, <u>Гребенников П.Б.</u>, <u>Сократов С.А.</u> Применение пенетрометра SMP для исследования стратиграфии и свойств снежного покрова 4. <u>Котляков В.М.</u>, <u>Чернова Л.П.</u>, <u>Хромова Т.Е.</u>, <u>Муравьев А.Я.</u>, <u>Качалин А.Б.</u>, <u>Тюфлин А.С.</u> Морфологические особенности пульсирующих ледников 5. <u>Мавлюдов Б.Р.</u>, <u>Экба Я.А.</u> Снежно-ледяные накопления в пещерной системе Снежная, Западный Кавказ 6. <u>Маневич Т.М.</u>, <u>Марченко Е.С.</u>, <u>Муравьев Я.Д.</u> Районирование экстремальных георисков в районах современного вулкано-

	<p>гляциального взаимодействия (на примере полуострова Камчатка)</p> <p>7. <u>Муравьев А.Я.</u> Характеристики современного оледенения Камчатки</p> <p>8. <u>Останин О.В.</u>, Дьякова Г.С., Ковалев М.В., Бурым Р.Д., Отгонбаяр Дэмбэрэл. Изменение ледника Томич (Центральный Алтай) за период инструментальных наблюдений</p> <p>9. Пильгаев С.В., <u>Черноус П.А.</u>, Федоренко Ю.В., Филатов М.В., Ларченко А.В. Система сигнализации о лавинах, селях, оползнях и паводках</p> <p>10. <u>Сысолятин Р.Г.</u>, Сериков С.И., Железняк М.Н. О высотной поясности и динамике изменения температуры горных пород в хребте Сунтар Хаята</p> <p>11. Чернов Р.А., <u>Муравьев А.Я.</u> Современные изменения горного оледенения Земли Принца Карла и Земли Норденшельда (арх. Шпицберген)</p>
13:00–15:00	<i>Перерыв на обед</i>
Горные ледники. Председатель Т.Е. Хромова	
15:00–15:20	<u>Ганюшкин Д.А.</u> , Чистяков К.В., Кунаева Е.П., Волков И.В., Банцев Д.В. Сокращение оледенения горного узла Таван-Богд-Ола с максимума Малого Ледникового Периода по современность
15:20–15:40	<u>Сергеев И.С.</u> , Штыкова Н.Б., Ганюшкин Д.А., Глебова А.Б. Измерение мощности ледников горного массива Цамбагарав (западная Монголия) на основе анализа переменной составляющей электрического сопротивления льда
15:40–16:00	<u>Осипова О.П.</u> , Осипов Э.Ю. Тепловой баланс ледника №18 (Восточный Саян, юг Восточной Сибири)
16:00–16:20	<u>Кокарев А.Л.</u> , Когутенко Л.В., Северский И.В., Шестерова И.Н., Егоров А.Б. Деградация оледенения в бассейнах рек Пскем и Чаткал (Западный Тянь-Шань)
16:20–16:40	<u>Башкова Е.И.</u> Дистанционные методы исследования пульсирующих ледников Каракорума
16:40–17:00	<u>Кокин О.В.</u> , Кириллова А. Формирование боковых морен пульсирующих ледников Западного Шпицбергена
17:00–17:20	<u>Банцев Д.В.</u> , Ганюшкин Д.А., Екайкин А.А., Чистяков К.В., Токарев И.В. Особенности формирования ледникового стока юго-восточного Алтая по изотопным данным
17:20–17:40	<u>Мавлюдов Б.Р.</u> Об особенностях движения горно-долинных ледников
17:40–18:00	<u>Турчанинова А.С.</u> , Лазарев А.В., Селиверстов Ю.Г., Комаров А.Ю., Марченко Е.С. Оценка вклада снежных лавин в питание ледников

28.09.2018

Снежный покров и природа полярных районов. Председатель Н.И. Осокин	
9:00–9:20	<u>Дюкарев Е.А.</u> , Макеев Е.А., Кураков С.А. Определение характеристик снежного покрова с помощью автоматических измерителей температуры
9:20–9:40	<u>Сосновский А.В.</u> , Осокин Н.И. Влияние оттепелей на снежный покров и промерзание грунта при климатических изменениях
9:40–10:00	<u>Немировская И.А.</u> Особенности распределения органических соединений в снежно-ледяном покрове Белого моря
10:00–10:20	<u>Курятникова Н.А.</u> , Малыгина Н.С., Митрофанова Е.Ю. Таксономическое разнообразие в пыльцевых спектрах зимних атмосферных осадков Алтая
10:20–10:40	<u>Чихачев К.Б.</u> , Липенков В.Я. К вопросу решения нестационарной задачи уплотнения снежно-фирновой толщи для определения глубины захвата атмосферного воздуха
10:40–11:10	<i>Перерыв на кофе</i>
11:10–11:30	<u>Комаров А.Ю.</u> , Селиверстов Ю.Г., Турчанинова А.С., Гребенников П.А., Сократов С.А., Сучилин А.А., Энтин А.Л., Владимирова М.Ю. Определение высоты снежного покрова с использованием ДДЗ
11:30–11:50	<u>Голубева Е.Н.</u> , Платов Г.А. Анализ тенденций изменений гидрологии сибирских арктических морей в условиях глобального потепления
11:50–12:10	<u>Пикалёва А.А.</u> , Школьник И.М., Ефимов С.В. Будущие изменения климата и характеристик его экстремальности в регионах Крайнего Севера по оценкам большого ансамбля региональной модели ГГО
12:10–12:30	<u>Kokin O.</u> , Frolov D., Sinitsyn A., Kirillova A. The role of snow cover on the Arctic sea coast ground thermal regime variability near Varandey (Pechora Sea)
12:30–12:50	<u>Комаров А.Ю.</u> , Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А. Пространственно-временная изменчивость снежного покрова в Московском регионе
12:50–15:00	<i>Перерыв на обед</i>
Изотопный состав снега и льда, подземные льды горных районов. Председатель А.Г. Георгиади	
15:00–15:20	<u>Малыгина Н.С.</u> , Эйрих А.Н., Агбалян Е.В., Папина Т.С. Изотопный состав атмосферных осадков Надымской низменности
15:20–15:40	<u>Козачек А.В.</u> , Екайкин А.А., Стеен-Ларсен Х.К., Ландэ А. Исследования изотопного состава водяного пара над поверхностью Южного океана

15:40–16:00	<u>Эйрих А.Н.</u> , Малыгина Н.С., Папина Т.С. Изотопный состав снежного покрова Алтая
16:00–16:20	<u>Голобокова Л.П.</u> , Фатеев Н.Н., Лякушин И.Д., Сидорова О.Р. Особенности современного химического состава атмосферного аэрозоля и газовых примесей в п. Баренцбург
16:20–16:40	<u>Malygina N.</u> , Eirikh A., Varlyayeva T., Papina T. Isotopic composition of precipitation in Altai glaciological region
16:40–17:00	<u>Сосновский А.В.</u> , Осокин Н.И. К расчету замерзания соленой воды в капельном факеле
17:00–17:20	<u>Дьякова Г.С.</u> , Останин О.В., Горяевчева А.А. Внутреннее строение гляциально-мерзлотных каменных образований Алтая на основе геофизических методов
17:20–17:40	<u>Горяевчева А.А.</u> , Оленченко В.В., Дьякова Г.С., Останин О.В. Трехмерные геоэлектрические модели гляциально-мерзлотных каменных образований Центрального Алтая
17:40–18:00	<u>Волков И.В.</u> , Ганюшкин Д.А., Банцев Д.В. Закономерности пространственного распределения каменно-ледяных образований в аридном высокогорье Внутренней Азии

29.09.2018

Снежные лавины и сели. <i>Председатель М.Ю. Москалевский</i>	
9:20–9:40	<u>Олейников А.Д.</u> , Володичева Н.А. Снежные лавины в условиях гидрометеорологической аномалии весны 2018 г. в Приэльбрусье
9:40–10:00	<u>Черноус П.А.</u> , Волков А.В., Федоренко Ю.В., Николаев Р.В. Оценка изменчивости высоты снега в лавиносборе по результатам лазерного сканирования
10:00–10:20	<u>Родионова П.М.</u> , Турчанинова А.С., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Глазовская Т.Г. Учёт лавинной опасности при градостроительной деятельности
10:20–10:40	<u>Олейников А.Д.</u> , Володичева Н.А. Оценка лавинного максимума горных территорий (пространственный и временной аспекты)
10:40–11:10	<i>Перерыв на кофе</i>
Подземные льды и подводная мерзлота, природные риски. <i>Председатель В.М. Котляков</i>	
11:10–11:30	<u>Прейс Ю.И.</u> Влияние многолетней мерзлоты на формирование Западно-Сибирского торфяного бассейна
11:30–11:50	<u>Малахова В.В.</u> Оценка состояния субквальной мерзлоты восточного сектора Арктики на основе численного моделирования

11:50–12:10	<u>Тихонравова Я.В.</u> , Слагода Е.А. Строение полигонально-жильного льда торфяника хасырея Пур-Тазовского междуречья
12:10–13:00	Подведение итогов и закрытие конференции.

Динамика Антарктического ледникового покрова в эпоху потепления

Котляков В.М., Глазовский А.Ф., Москалевский М.Ю.

Институт географии РАН, Москва

Современная эпоха глобального потепления отражается на общем состоянии Антарктического ледникового покрова и балансе его массы. Потепление ведёт к увеличению содержания водяного пара в воздушных массах, вызывает интенсификацию атмосферной циркуляции и рост снегонакопления на поверхности ледникового щита. Вместе с тем потепление океанических вод и увеличение температуры льда приводят к росту скоростей течения льда и большему расходу льда на береговой линии материка. Изучение и расчёты этих процессов и их соотношения не просты и до сих пор не получили законченного решения.

Предположение о современном росте массы льда в Восточной Антарктиде было высказано еще в период Международного геофизического года (1957–1958 гг.). Однако по мере развития новых методов исследований такое заключение было поставлено под сомнение. На рубеже веков в изучении глобальных процессов на Земле стали использовать спутниковую альтиметрию (радарную и лазерную), а также спутниковую гравиметрию, позволяющие определять изменения массы, в том числе льда, которые приводят к гляциоизостатическим движениям. Такие исследования в последние годы стали массовыми, и их используют для подсчёта баланса материкового льда.

Наш анализ обширных материалов последних лет подтверждает ранние заключения о возможном росте массы льда в Восточной Антарктиде. Однако в Западной Антарктиде и на Антарктическом полуострове в наше время, наоборот, происходит усиленное таяние льда, нивелирующее повышенный приход массы льда в Центральной Антарктиде. Поэтому в целом в современную эпоху глобального потепления масса льда в Антарктиде уменьшается, несмотря на возможный небольшой рост Восточно-антарктического ледникового покрова. В результате уменьшение массы ледникового покрова Антарктиды вносит свой вклад в повышение уровня Мирового океана. Но этот вклад невелик в сравнении с масштабами Антарктического ледникового покрова. Главная причина в том, что в Восточной Антарктиде накопление массы со значительной долей вероятности преобладает над расходом льда.

Современное состояние и перспективы развития сети наблюдений природных процессов в Арктике

Фролов И.Е.

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Россия*

frolov@aari.ru

Ключевые слова: стационарная сеть наблюдений, климатические обсерватории, программы научных наблюдений, межведомственная координация.

В условиях глобального потепления существенно возрос интерес к изменению природных сред Арктики со стороны, в первую очередь, приарктических государств.

Какие изменения ожидаются в Арктике? Этот вопрос интересует не только политиков, но и бизнес, и коренное население, и руководство регионами. Ответить на этот вопрос способна только наука, используя данные мониторинга состояния природных сред Арктики и современные средства и методы исследований.

В последние годы в дополнение к существующей сети гидрометеорологических станций и постов созданы научные стационары (обсерватории):

- в 2011 г. создана обсерватория по изучению глобальных изменений климата «Тикси» при участии США и Финляндии (Росгидромет);

- в 2013 г. создана Научно-исследовательская станция «Самойловский» (Сибирское отделение Российской академии наук);

- в 2014 г. создан Российский научный центр на Шпицбергене (Росгидромет);

- в 2014 г. создан научно-исследовательский стационар «Ледовая база «Мыс Баранова».

В докладе приведены сведения о научных программах наблюдений на этих стационарах, участвующих организациях и некоторых результатах. Особое место в системе наблюдений в морской части Арктики занимают судовые экспедиции Министерства природных ресурсов, Росгидромета и Российской академии наук, однако следует отметить отсутствие механизма межведомственной координации и согласования программ морских экспедиций.

В апреле 2018 г. на основании Распоряжения Правительства РФ руководитель Росгидромета подписал контракт с руководством ОАО «Адмиралтейские верфи» на строительство Ледовой самодвижущейся платформы «Северный полюс» с окончанием строительства в 2020 году. В докладе приведены данные о технических характеристиках и оборудовании платформы. Использование этого уникального специализированного судна предполагается на основе комплексной межведомственной научной программы, которую нам ещё предстоит разработать.

В заключении доклада обсуждаются проблемы межведомственной координации, повышения эффективности использования бюджетных средств и доступности первичных данных.

Новые данные о голоценовых колебаниях уровня моря в Арктике и Антарктике

Большаянов Д.Ю., Макаров А.С.

ФГБУ «АНИИ»

Продолжаются поиски следов повышенного стояния уровня моря в плейстоцене, голоцене и в течение последних столетий на побережьях Арктики и Антарктики. Новые данные о возрасте этих палеоокеанологических событиях получены с побережий архипелага Северная Земля, с островов Южного океана Кергелен и Южная Георгия, скал мыса Дэнисон в восточной Антарктиде. Событие повышенного стояния уровня моря около 2000 лет назад уже надёжно подтверждены исследованиями в устьевых областях сибирских рек, на арктическом побережье России, а также при изучении донных отложений оазисов Антарктиды. Прделана работа по анализу 5000 радиоуглеродных датировок отложений с других побережий мира, которая также показала большую вероятность этого события 2000 лет назад. Новые данные по датированию берегового вала высотой 9 м на с-з оконечности острова Большевик (архипелаг Северная Земля) показали его 2000 тысячелетний возраст. Наиллок морского происхождения (алеврит с диатомовыми водорослями, остатками перьев птиц и водорослей), имеющий радиоуглеродный возраст 2000 лет, залегает в скалах мыса Дэнисон на высоте 10 м над современными уровнем моря. Морская терраса высотой 9 м в заливе Святого Андрея на востоке о. Южная Георгия датируется радиоуглеродным возрастом от 1540 до 2200 лет. Эти новые материалы подтверждают повышение уровня Южного океана около 2000 лет до высоты не менее 10 м над современным его уровнем. Не был значительно ниже современного уровень океана и на рубеже плейстоцена и голоцена. На восточной оконечности о. Кергелен морской пляж, погребённый торфяными отложениями и располагающийся на высоте 8-9 м над уровнем моря датируется радиоуглеродным методом в 10100 лет.

Изменяется уровень моря и на протяжении последних сотен лет. Анализ донных отложений озера на острове в заливе Ахматова (архипелаг Северная Земля) показал рост уровня моря в последние столетия.

Знания колебаний уровня моря в прошлом совершенно необходимы для того, чтобы понять их причины и быть готовым к их проявлением в ближайшем будущем.

Результаты и перспективы гидрометеорологических исследований на российских арктических обсерваториях

Макштас А.П., Кустов В.Ю., Богородский П.В., Большакова И.И., Жукова О.Л., Лоскутова М.А., Махотина И.А.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

В настоящее время гидрометеорологические исследования, выполняемые Лабораторией экспериментальной климатологии Арктики ААНИИ, проводятся на трех полярных обсерваториях: Гидрометеорологическая обсерватория Тикси, открытая в 2010 году и являющаяся с 2012 г. участником Международной сети арктических обсерваторий (IASOA, www.iasoa.org); Научно-исследовательский стационар «Ледовая база «мыс Баранова», открытый ААНИИ осенью 2013 года и превратившийся к настоящему времени в полноценную обсерваторию, на которой проводятся комплексные исследования практически по всем направлениям наук о Земле; Российский Научный Центр на Шпицбергене, где в 2017 году были развернуты комплексные исследования процессов взаимодействия атмосферы и поверхности тундры. Основной задачей Обсерваторий является обеспечение качественного мониторинга метеорологических процессов и комплексный анализ полученных данных как статистическими методами, так и с помощью математического моделирования

На основе данных градиентных наблюдений и оригинального метода расчета турбулентных потоков тепла рассчитаны компоненты теплового баланса подстилающей поверхности. Показано наличие направленного к сильно выхолаженной зимой подстилающей поверхности турбулентного потока явного тепла и направленного к подстилающей поверхности турбулентного потока скрытого тепла летом, обусловленного ее относительно низкой влажностью в бесснежный период.

Приведены предварительные результаты измерений и анализа внутрисуточной и внутримесячной изменчивости концентраций двуокси углерода и метана с помощью программы HYSPLIT. Обозначены локальные и региональные их источники. К островным источникам можно отнести термокарстовые озера в летний период и деятельность микрофлоры и микрофауны почвы. К региональным источникам относятся заболоченные участки Сибири, Кольский полуостров, район Норильск и дельта реки Лена.

Приведено сравнение температурного режима деятельного слоя почвы на четырех участках тундры вблизи ГМО Тикси, показавшее его существенное различие для участков, расположенных на расстоянии не более 1 км друг от друга и находящихся при одинаковом воздействии атмосферы. Выявлена разница между районами тундры, покрытыми растительностью, и ее каменистыми участками, типичными для архипелагов Северная Земля и Шпицберген. На каменистых участках амплитуда колебаний сезонной температуры в два раза больше, а длительность эффекта нулевого занавеса в 3-7 раз короче. В дополнение к результатам прямых наблюдений за глубинами оттаивания почв на песчано-гравийно-глинистых почвах, наблюдаемых в Тикси и на острове Большевик, представлены модельные оценки их многолетних тенденций в 1950-х - 2010-х годах.

По данным сети арктических российских станций, расположенных в регионе Баренцева и Карского морей, выполнен анализ метеорологического режима свободной атмосферы региона за период с сентября 2013 года по апрель 2018 года. Показано, что повышение температуры воздуха в регионе Карского моря наблюдается на всех станциях зимой и осенью от земли до уровня 400 гПа. В верхней тропосфере и нижней стратосфере наблюдается похолодание. Аналогичные результаты получены на основе анализа аэрологических данных Международной сети арктических обсерваторий (IASOA) за период 1963 – 2017.

Работа выполнена при поддержке проекта Министерства образования и науки Российской Федерации RFMEFI61617X0076.

Космические снимки в новом Атласе Российской Арктики

Кравцова В.И.¹, Пижанкова Е.И.², Кизяков А.И.¹, Гаврилов А.В.²

*¹Географический факультет Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова*

*²Геологический факультет Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова*

Все возрастающий интерес к Арктике способствует подготовке картографических произведений для информационного обеспечения первоочередных задач развития этого региона. По инициативе и при финансовой поддержке нефтегазового комплекса готовится к изданию атлас «Роснефть и Российская Арктика», в котором значительное внимание уделяется экологическим аспектам освоения Севера в условиях колебаний климата. Этот атлас оснащен космическими снимками, отражающими изменения природной среды, в частности различных видов природных льдов, при потеплении.

Уменьшение площади морских льдов проиллюстрировано материалами съемки из космоса северной полярной шапки на период наибольшего сокращения площади. Изменения морских льдов у берегов – дрейфующих и припайных льдов, их влияние на разрушение берегов, показано на снимках Баренцева, Карского, Восточно-Сибирского морей. Разновременными снимками зафиксировано отступление берегов, сложенных подземными льдами, в результате развития процессов термоабразии, теромозрозии и термоденудации на Новосибирских островах, острове Колгуев, полуострове Быковском. В устьевых областях арктических рек охарактеризованы особенности приливных эстуариев Мезени и Кулоя, сложные ледовые условия судоходства в Обской губе. Приведены снимки ледовых заторов в устье Северной Двины и материалы космического мониторинга мероприятий по их ликвидации.

Большое внимание в атласе уделено формам мерзлотного рельефа, хорошо отображаемым на снимках высокого разрешения – показан полигональный микрорельеф разного типа и стадий развития, бугры пучения, делли, термоэрозионные формы. Охарактеризовано образование наледей, термокарстовых озер, воронок газового выброса.

Представлена в атласе и живая природа Арктики. Снимки передают визуальный образ арктической и типичной тундры, лесотундры. Влияние потепления на развитие растительности хорошо отражает фотокарта динамики вегетационного индекса за 2000-2009 гг., показывающая рост фитомассы на Европейском Севере. В атласе приведены уникальные материалы спутникового мониторинга арктических млекопитающих – моржей, тюленей.

На страницах атласа представлено и воздействие недропользования на ранимую природу Арктики. Даны яркие примеры деградации растительности в районах Норильска и Мончегорска, где под серноокислыми дымами медно-никелевых комбинатов образовались техногенные пустоши.

Космическое оснащение нового атласа «Роснефть – Атлас Российской Арктики», несомненно, будет способствовать лучшему пониманию экологических проблем и поможет разработке мероприятий по их решению.

Изучение рельефа морского дна в Антарктике: научная значимость и перспективы исследований в РАЭ

Лейченко Г.Л., Баженова Е.А.

ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, 190121 Английский пр., д.1

Исследования морфологии морского дна полярных регионов в настоящее время являются важнейшей компонентой комплексных морских геолого-геофизических работ многих стран. Наиболее ценными являются съемки с помощью многолучевого эхолота и высокоразрешающей сейсморазведки. В Антарктике такие работы имеют свою специфику и очень востребованы научным сообществом для изучения изменений природной среды последних тысячелетий, современных эндогенных процессов, а также уникальных и очень уязвимых экосистем.

На антарктических шельфах сохранились следы наступления ледников во время позднеплейстоценового гляциального максимума и их отступления в голоцене. В основном это линейные структуры выпахивания и морены, которые образуют различные формы рельефа морского дна. Структуры выпахивания определяют направления течения льда, а положение морен позволяет установить границы палеоледников, линии их налегания на морское дно, характер отступления (деградации) ледников. Все эти данные необходимы для моделирования динамики и объема антарктического льда в недавнем геологическом прошлом, выявления региональных различий в поведении краевой зоны ледового щита, изучении современного баланса антарктического льда и прогноза изменения природной среды Антарктики в будущем. Исследования глубоководных каньонов и других форм рельефа важны для изучения современных процессов переноса осадочного вещества на континентальной окраине Антарктиды, обусловленного действием турбидитных (склоновых) потоков и донных течений, которые, в свою очередь, зависят от динамики ледникового покрова. Морфология структур в морском дне позволят также уточнить динамику и интенсивность донных течений.

Изучение современных эндогенных процессов направлены на решение 2-х явлений: просачивание флюидов (главным образом метана) через морское дно и изучение гидротермальной деятельности (преимущественно в современных океанических хребтах). Просачивание флюидов связано с разрушением скоплений углеводородов, разложением органического вещества или разложением газогидратов. В Антарктике такие процессы уже выявлены (например, в море Росса), но еще в очень незначительном количестве, так как подобные исследования начались только недавно. Изучение этого феномена важно с экологической точки зрения и для оценки углеводородного потенциала Антарктики. Изучению гидротермальной деятельности в последнее десятилетие уделяется огромное внимание, так как с этими процессами связано образование богатых полиметаллических руд. В Антарктике гидротермальная деятельность пока обнаружена только в море Скоша.

В Антарктике в рамках РАЭ ежегодно работают три суда (НЭС «Академик Фёдоров», НЭС «Академик Трешников» и НИС «Академик А. Карпинский»), каждый из которых оснащен многолучевыми эхолотами, однако до сих пор их использование для изучения морского дна было эпизодическим. Полноценная съемка проведена только в сезон 63 РАЭ на НИС «Академик А. Карпинский» в пределах шельфа Южно-Оркнейских островов. В результате получена ценная информация о динамике ледникового покрова этого региона в недавнем прошлом. Изучение морского дна в антарктических морях на российских судах с помощью многолучевого эхолота является важнейшей задачей. Это позволит развить новое направление исследований в российской национальной программе и полноценно участвовать в приоритетных научных программах СКАР, связанных с изменением природной среды и климата Антарктики.

Динамика ледника Пайн-Айленд (Западная Антарктика) в позднем голоцене

Афанасьева В.К.^{1,2,3}, Хилленбранд К.-Д.⁴, Клагес Й.Ф.³, Кун Г.³, Лейченков Г.Л.^{1,2}

(1) ФГБУ ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Российская Федерация

(2) СПбГУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

(3) АВИ, Бремерхафен, Германия

(4) БАС, Кембридж, Великобритания

Ледник Пайн-Айленд является на сегодняшний день самым стремительно отступающим шельфовым ледником в Западной Антарктике. Ледник претерпел несколько значительных эпизодов откола айсбергов. Считается, что основной причиной подлёдного таяния шельфовых ледников является приток тёплых вод циркумполярного Антарктического течения на шельфы к линии налегания ледника.

Уникальная ледовая обстановка во время рейса НИС «Полярштерн» в феврале-марте 2017 года позволила отобрать несколько проб у фронта ледника. В том числе, в небольшом осадочном бассейне на глубине около 700 м ниже уровня моря была отобрана осадочная колонка PS104/008-2 длиной 759 см. До 2015

Изучение литологического состава, а также структуры залегания осадков и гранулометрического состава осадков, а также некоторых физических параметров позволило выделить три основных типа отложений, представленных в осадках изучаемой колонки, а также интерпретировать результаты с точки зрения условий осадконакопления. Было обнаружено три типа отложений, связанных с морскими-гляциальными процессами осадконакопления. Большая часть колонки сложена хорошо ламинированными отложениями илисто-глинистого состава, которые были интерпретированы как отложения плюмитов (plumites). Проксимальные ледниковые отложения, образовавшиеся в результате активного подлёдного стока, зачастую отличаются большой мощностью и высокими скоростями осадконакопления. Одной из целей нашей работы было изучение современных отложений плюмитов с целью дополнения описания этого типа ледниковых отложений. В верхней части колонки был выделен тип отложений с более крупнозернистым составом и большим количеством частиц ледового разноса, который был интерпретирован как отложения, сформированные в результате достаточно быстрого и интенсивного таяния и отступления линии откалывания айсбергов. Работа находится в процессе.

Влияние волн жары и холода на здоровье населения северных городов

Белолуцкая М.А.¹, Ревич Б.А.¹, Анисимов О.А.¹

¹*Государственный гидрологический институт, 199053 С.Петербург, 2-ая Линия В.О., 23*
oleg@oa7661.spb.edu

Изменение климата ведет к увеличению частоты волн жары и холода. В 21 веке это стало новым фактором риска здоровью населения. На территории России климатические изменения происходят неравномерно, наиболее выражены они в Арктике. Показателен северо-западный регион, где продолжительная волна жары летом 2010 г. привела к увеличению смертности населения. Глобальной задачей является адаптация к изменению климата, в том числе здравоохранения, с выделением специфических задач по созданию волонтерских групп для помощи лицам с ограниченной подвижностью, медицинских групп быстрого реагирования, прохладных комнат в учреждениях социальной защиты. В настоящее время создан новый методический аппарат для исследования влияния метеорологических факторов на смертность населения с анализом воздействия температурных волн, ветро-холодового индекса и других показателей.

Были получены оценки воздействия температурных волн на здоровье населения в С.Петербурге, Мурманске и Архангельске, по которым можно сделать обобщенные выводы о всем северо-западном регионе. Климат этих городов различается не только по температурному режиму, но и по устойчивости погодных условий, что приводит к различиям в средней длительности волн жары и холода. Это приводит к значительным климатическим рискам и дополнительной смертности.

Было установлено, что риски волн холода значительно выше, чем риски волн жары. При этом для холода получено значительно больше статистически-значимых оценок риска, чем для волн жары. Относительные приросты смертности во время аномальной жары могут отличаться от аналогичных приростов во время «обычных» волн жары в два и даже три раза.

Исследование поддерживается Российским научным фондом, проект 14-17-00037 государственного гидрологического института.

Гидрологическая характеристика потенциально прорывоопасных озёр полуострова Брокнес, Восточная Антарктида

Боронина А.С.¹, Суханова А.А.¹, Григорьева С.Д.¹, Пряхина Г.В.¹, Попов С.В.²

1 - Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

2 - АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия

al.b.s@yandex.ru

Ключевые слова: озёра криосферы, прорывы озёр, гидрология, георадиолокация, холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида.

В ходе летнего полевого сезона 63-ей Российской антарктической экспедиции (2017/18 г.) на озёрах, расположенных в восточной части полуострова Брокнес (холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида), были выполнены обширные гидрологические и геофизические исследования, направленные на выявление и комплексное изучение потенциально прорывоопасных водоёмов. Для получения информации о характере изменения уровня воды на восьми озерах: Рейд, Скандретт, Дискашн, Сибторп, Прогресс, LN73, Болдер и «Ледяное» оборудованы временные водомерные посты. На основе полученных данных было установлено, что для большинства водоёмов оазиса характерно резкое падение высоты водной поверхности, связанное с прорывами. Кроме того, на озёрах, расположенных в непосредственной близости от инфраструктуры РАЭ, проведены батиметрические съёмки. Они включали себя классические гидрологические методы определения глубин – эхолотирование с лодки и промеры ручным лотом. Применительно к пресноводным водоёмам, на которых в течение антарктического лета сохранился тонкий, неустойчивый ледовый покров, для исследований использовалось георадарное профилирование. В общей сложности отработано 909 пунктов измерения глубин эхолотом и лотом, а также около 9 пог. км георадарных маршрутов. По результатам выполненных работ для озёр Рейд, Скандретт, Дискашн, Сибторп, LN73, «Ледяное» были составлены схемы глубин и рельефа дна, а также выполнено построение схем геоморфологического содержания. По данным совместных гидрологических и геофизических исследований для вышеуказанных шести озёр рассчитаны актуальные на настоящий момент основные морфометрические характеристики и проведены их сопоставления с историческими данными, полученными в ходе Австралийских антарктических экспедиций.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-05-00421 «Особенности формирования и развития паводков подледниковых водоёмов Антарктиды».

Влияние опасных нивально-гляциальных и криогенных процессов на геотехническую стабильность в городах Арктики

Гребенец В.И., Толманов В.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии

Последнее десятилетие активизировалось освоение Арктических регионов, чему способствует не только богатейшая ресурсная база, но и их геополитическое значение. Суровые климатические условия и их современные изменения, наличие вечной мерзлоты, активность криогенных и гляциальных процессов в совокупности с сложным экономико-географической ситуацией северных территорий и неразвитостью транспортной инфраструктуры требуют особых подходов к строительству и эксплуатации объектов инфраструктуры в Арктике. Исследования последних лет выявили высокую степень деформированности зданий и сооружений в заполярных городах и поселениях. Представляется, что эта негативная инженерно-геокриологическая и геотехническая ситуация обусловлена пятью блоками причин (не считая социально-экономических условий): а) снижение несущей способности существующих вмороженных фундаментов под влиянием изменения климата и техногенеза; б) формирование специфичных природно-техногенных геокриологических комплексов (ПТГК) на хозяйственно освоенных территориях; в) изменение теплообмена через поверхность в системе: «атмосфера – вечномерзлые грунты»; г) интенсификация опасных криогенных процессов при антропогенном воздействии; д) морозная деструкция материалов фундамента. Наши детальные натурные исследования в совокупности с численным моделированием, анализом аэро-космо снимков и данных изысканий разных лет выполнены для севера Западной и Средней Сибири. Установлено, что в вечномерзлых основаниях 23 зданий и сооружений в крупнейших городах этих регионов прослеживаются деграционные тенденции. В подавляющем большинстве ПТГК (в Норильском пром.районе выделено 17, в Игарском -11, в Ямбурге – 9 и т.п.) происходят негативные изменения в вечной мерзлоте. Наши полевые исследования в Норильском регионе позволили выделить несколько типов деформирования дорожного покрытия, связанные с криогенными и гляциальными процессами. Основные риски обусловлены отеплением вечной мерзлоты (термокарст, термоабразия и др.), а для опор надземных трубопроводов с касательными силами морозного пучения, которые заметно возрастают при увеличении глубины сезонно-талого слоя в период эксплуатации линейных техногенных систем. Проблема устойчивости объектов инфраструктуры в Арктике требует применения комплексных методов по стабилизации мерзлотной обстановки. Работы выполнены при финансовой поддержке проекта РФФИ 18-05-60080 «Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике».

Реконструкция палеогеографических условий на шельфе и побережье Карского моря в сартанское время (МИС 2)

Облогов Г.Е.^{1,2}, Васильев А.А.^{1,2}, Стрелецкая И.Д.³

¹Тюменский научный центр СО РАН, ²Тюменский государственный университет,

³Московский государственный университет им Ломоносова

В результате многолетней работы авторов в труднодоступных и до настоящего времени недостаточно изученных районах побережья Карского моря, получены уникальные данные о геолого-криолитологическом строении и свойствах четвертичных отложений. На основе анализа материалов авторами проведена реконструкция особенностей палеогеографических (главным образом палеоклиматических) условий в регионе Карского моря в конце позднего неоплейстоцена в сартанское время (МИС 2).

Составлены таблицы, в которых отражены основные геокриологические характеристики отложений и реконструируемые палеогеографические условия выделенного этапа. Основной упор делался на реконструкции характеристик климатических условий (главным образом температуры воздуха приземных горизонтов). Такие данные приведены на основе реконструкций зимних палеотемператур по данным изотопного анализа льда сингенетических полигонально-жильных льдов. Интерпретация результатов определения стабильных изотопов в подземных льдах также позволила определить источник осадков. Сравнивая химический состав современных осадков с реликтовыми подземными льдами было реконструировано положение древней береговой линии моря.

Для иллюстрации реконструированного этапа геологической истории была составлена карта-схема палеогеографических условий региона Карского моря в сартанское время (МИС 2). На карте выделено положение областей находившихся в рассматриваемое время в континентальной (субаэральной) области, либо затопленных морем (субаквальные области), выделены области развития ледниковых покровов. Важная роль отведена отображению пространственного распределения реконструированных температур воздуха. Распределение зимних температур воздуха выполнено на основе реконструкций по изотопным данным. Летние температуры оценены на основе принципа аналогий, т.е. по известным значениям зимней температуры и температуры холодного периода из имеющейся базы данных метеорологических станций Российской Арктики подобраны станции – аналоги, которые расположены в аналогичной биоклиматической зоне (предполагаемой по данным палинологических анализов) и имеющие близкие значения зимних температур. Летние температуры тогда принимались одинаковыми со станциями – аналогами. Среднегодовые температуры воздуха рассчитаны на основе вычисленных зимних температур, температур холодного периода и оценок летних температур.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ, грант 18-05-60004.

Полевые испытания дистанционной лазерной снегомерной рейки

Попов Г.В., Седухин П.В.

Противолавинная служба ООО «Роза-Хутор»

В настоящее время общая площадь, занятая снежным покровом и льдом на Земле, составляет около 100 млн. км². Для освоения такого рода районов необходимо знать характеристики снежного покрова, залегающего в этих местах значительную часть года. Наблюдения за состоянием снежного покрова в настоящее время производятся на наземной гидрометеорологической сети станций и постов с использованием ручных трудоемких методов, а данные измерений современных аэрокосмических средств, как показывает практика, имеют значительные погрешности и требуют коррекции по результатам наземных измерений.

Для решения описанных проблем была сконструирована дистанционная лазерная снегомерная рейка. Техническим результатом, на достижение которого направлено изобретение, является создание модульной конструкции, с возможностью оперативно обеспечить высокую точность необходимых измерений и передачи информации. Преимуществами данного технического решения является высокая точность благодаря работе пары датчиков, где в качестве эмиттера выступает лазерный светодиод, а в качестве ресивера фоторезистор. Таким образом если рейка находится на дневной поверхности, то лазерный пучок с минимальным рассеиванием доходит до фоторезистора. В случае снегонакопления излучение эмиттера рассеивается кристаллами снега, и фоторезистор регистрирует меньшую силу света, относительно пары на дневной поверхности. Кристаллы различных морфотипов по-разному рассеивают проходящий сквозь них лазерный свет, и при наборе определенного статистического ряда данных в конкретном регионе можно судить о стратиграфии снежной толщи. Определяя по силе света, измеряемой фоторезисторами, форму и размер кристаллов в слое снежной толщи. Также можно определять интегральную плотность снежных слоев, имея эмпирические коэффициенты, выведенные по серии репрезентативных шурфов.

Дополнительно установленные на рейке температурные датчики позволяют получать данные о температуре снежного покрова, что немаловажно при комплексном изучении снежной толщи.

Полевые испытания рейки проводились в Приэльбрусье (летний сезон) и в Красной поляне (зимний сезон), и позволили протестировать эксплуатационные характеристики устройства в разных климатических и географических условиях. В ходе проведения испытаний удалось выявить ряд конструктивных просчетов, допущенных при проектировании. Полученные результаты сравнивались с данными, полученными классическими инструментами и методами, на тех же площадках, где была установлена дистанционная лазерная снегомерная рейка.

Перспективы радиолокационных зондирований подледниковых водоёмов **Попов С.В.¹, Боронина А.С.², Суханова А.А.², Харитонов В.В.³, Г.В. Пряхина Г.В.², Кашкевич М.П.²**

1 - АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия;

2 - Санкт-Петербургский государственный университет, Россия;

3- ФГБУ «АНИИ», Санкт-Петербург, Россия

spopov67@yandex.ru

Ключевые слова: подледниковые водоёмы, минерализация, Антарктида, радиолокация, субгляциальная гидрология, субгляциальная геоморфология

Тематика субгляциальной гидрологии и субгляциальной геоморфологии как новых научных направлений тесно связана с радиолокацией. Именно этот геофизический метод наиболее полно и эффективно позволяет изучать процессы, происходящие на контакте ледника и подлёдной среды, а в ряде случаев и значительно глубже. Лучшим тому примером является выявление подледниковых водоёмов, а также многочисленные построения геоморфологического и палеогеографического содержания, основанные на данных по подлёдному рельефу и анализе временных радиолокационных разрезов. Настоящая работа направлена на оценку перспектив изучения придонной части подледниковых водоёмов методом радиолокации. Основной вопрос при этом связан с оценкой затухания электромагнитных волн, который для водных масс целиком зависит от их минерализации. На сегодняшний день озеро Восток является единственным подледниковым водоёмом, о котором имеется, пусть и не полная, но достоверная информация. Однако при этом понятно, что его приповерхностный слой, откуда производился отбор проб, может существенно отличаться от резидентной воды. Таким образом, относительно минерализации подледниковых вод до сих пор имеются лишь общие предположения. Авторы полагают, что электрофизические свойства природных вод суши и подледниковой по всей видимости сходны. Поэтому сходна и глубинность их лоцирования. В рамках настоящей работы представляется обзор литературных источников по минерализации пресноводных водоёмов, а также собственные измерения минерализации в пробах, отобранных на северо-западе России, на Шпицбергене, Кубе, в Скандинавии, Восточной Европе и в Антарктиде. На основе полученных данных произведены оценки удельного затухания электромагнитных волн. Кроме того, представляются результаты натурных исследований, выполненные с помощью штатных георадаров, а также ожидаемая глубинность лоцирования подледниковых водоёмов.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-55-12003 НИИО_а «Динамика ледника, подлёдная гидрология и долговременный баланс масс района озера Восток на основе комплексного анализа геодезических GNSS наблюдений и радиолокационных данных». Специальные натурные измерения осуществлялись при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-05-00579-а «Физическое моделирование радиолокационного зондирования ледникового покрова Земли».

Влияние опасных нивально-гляциальных и криогенных процессов на линейно-техногенные системы Российской Арктики

Толманов В.А., Гребенец В.И.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии

Арктика является территорией перспективного освоения. Усиление техногенеза и заметные климатические изменения, влияющие на состояние вечномёрзлых оснований, максимально негативно проявляются для линейных техногенных систем (ЛТС). Особенностью их является непрерывность и снижение вариабельности при выборе трасс. Проведены комплексные полевые исследования в Арктических регионах России, численное моделирование и прогноз состояния ЛТС в изменяющихся условиях. Выделены пять основных типов ЛТС: трубопроводы (надземные, наземные и подземные), городские коммуникации, линии связи, автомобильные и железные дороги. Оценена деструктивность криогенных процессов в зависимости от их направленности. На вечной мерзлоте трубопроводы традиционно устраивают на опорах, которые приподняты над поверхностью и вморожены в грунт; основной проблемой в этом случае является неравномерное морозное пучение в деятельном слое. При прокладке подземных трубопроводов в зоне прерывистой и островной мерзлоты развиваются деформации, связанные с опасными криогенными процессами – термокарстами термоэрозией, интенсивность которых нарастает в связи с климатическими изменениями последних десятилетий; выявлено, что 30-40% подобных ЛТС существенно деформированы или даже разрушены через 5-10 лет периода эксплуатации. В промышленных центрах севера водоводы различного назначения прокладываются в подземных коллекторах (утилизаторах): неравномерность оттаивания грунтов различного состава и льдистости приводит к интенсивному разрушению этих систем. Около 70% подземных коммуникаций в крупнейших Арктических городах России находятся в плохом состоянии. Опоры линий связи и электропередачи выдергиваются при морозном пучении и усилении ветра, которые усилились в Арктике в связи с изменениями климата. Впервые для всех регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока криолитозоны России (около 300 административных *areas*) осуществлен анализ потенциальной опасности для автомобильных и железных дорог, связанных с термокарст, термоэрозия и термоабразия, морозобойное растрескивание, морозное пучение, наледи, перемещение каменных глетчеров и курумов. Негативные воздействия от опасных криогенных процессов проявляются в виде пучин, провалов, сползания откосов, волнообразных деформаций, морозобойных трещин, формирования наледей, усилении тиксотропности грунтов, снижении несущей способности мерзлых оснований. Линейные техногенные системы Арктики более уязвимы при воздействии опасных криогенных процессов. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 18-05-60080 «Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике».

Природные и техногенные процессы в криолитозоне, антропогенные факторы активизации

Устинова Е.В.^{1,2,3} Пономарева О.Е.^{1,4}

- 1. Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, г.Тюмень, ул. Малыгина 86*
- 2. Тюменский государственный университет, г.Тюмень, ул. Володарского, д. 6*
- 3. Тюменский индустриальный университет, г.Тюмень, ул.Володарского, 38*
- 4. Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ–РГГРУ), г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23*

Проведенный анализ литературных источников позволил выявить нерешенные вопросы в оценке проявления экзогенных геологических процессов в криолитозоне. Недостаточно изучены тенденции развития экзогенных геологических процессов в зоне островного распространения высокотемпературных многолетнемерзлых пород, которые подвергаются деградации в условиях наблюдаемого потепления климата и прокладки магистральных трубопроводов. Также в литературе мало внимания уделяется рассмотрению взаимодействия экзогенных геологических процессов и растительного покрова. Между тем уничтожение растительного покрова в процессе освоения территории приводит к активизации ряда экзогенных геологических процессов, различных в разных ландшафтных условиях.

В результате длительного мониторинга геокриологических исследований на Надымском стационаре было установлено, что на дренированных участках, сложенных песками, сведение лесной растительности сопровождается возникновением эоловых процессов. Эоловые процессы активно развиваются на буграх и грядах пучения, сложенных с поверхности песками, даже в пределах трасс, поскольку в этих природных комплексах восстановление растительного покрова после его снятия крайне затруднено из-за недостатка увлажнения, малоснежности и подверженности действию ветров.

На плоских недренированных или слабодренированных участках снятие растительного покрова приводит к активизации процесса заболачивания. На этих участках, в местах, где нарушаются условия стока поверхностных и подземных вод (например, в результате сооружения насыпи) на месте заболоченных лесов возникают травяно-моховые болота, сохраняющиеся в этих изменившихся экологических условиях неопределённо долгое время. В нарушенной зоне в результате подтопления часто возникают озёрки, которые в дальнейшем постепенно зарастают травами и мхами и заболачиваются. Например, на прилегающей к трассе газопровода Надым-Пунга территории за 10-летний период площадь болот увеличилась на 30%.

На холмистых участках уничтожение растительного покрова является причиной возникновения и развития эрозионных процессов. Здесь возникают и растут овраги. Особенно быстрый рост оврагов отмечается на участках, сложенных многолетнемерзлыми породами, где процессы эрозии сочетаются с термокарстом, а естественное зарастание оголённых участков идёт медленно.

На плоских заболоченных равнинах снятие растительного покрова, сопровождающееся уменьшением снежного покрова, часто приводит к активизации криогенного растрескивания. Например, новые криогенные трещины появляются на нарушенных крупнобугристых торфяниках и торфяно-минеральных буграх пучения.

Уничтожение растительного покрова на плоских и наклонных слабодренированных равнинах приводит к усилению сезонного пучения и активизации процесса образования пятен-медальонов.

Для пологих склонов холмов, сложенных суглинками, характерны процессы солифлюкции. Например, эти процессы интенсивно развиты в краевых частях V прибрежно-морской равнины. Здесь на склонах широко распространены крупные оплывания почвы с

мощностью стенки отрыва до 0,5-0,7 м. Уничтожение растительного покрова на склонах приводит к резкому усилению солифлюкции, и возникающие сплывы могут принимать катастрофический характер, нанося серьёзный ущерб возведённым сооружениям.

Таким образом, в результате уничтожения коренных растительных сообществ часто активизируются такие экзогенные геологические процессы, которые в ненарушенных ландшафтах были выражены слабо или не проявлялись вовсе.

Прогноз развития опасных криогенных процессов на территории Ванкорского месторождения при потеплении климата

Юров Ф.Д., Гребенец В.И.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии

Ванкорское нефтяное месторождение, расположенное в 120 км северо-западнее г. Игарка), является одним из крупнейших в мире по своим запасам. В этом регионе обнаружена целая группа месторождений (Сузунское, Русское и др.), которые интенсивно осваиваются в последнее десятилетие. Для территории самого Ванкора характерна сплошная мерзлота (с несквозными таликами под наиболее крупными реками и озерами), однако вдоль трассы трубопровода «Ванкор – Пурпе» она постепенно переходит в прерывистую, а затем - в островную и редкоостровную. На Ванкоре подошва слоя вечной мерзлоты лежит на глубине 400-450 м, но в долинах крупных рек мощность вечной мерзлоты может уменьшаться до 280-300 м. Поверхностные отложения представлены преимущественно суглинками, торфом и песком в долинах рек. Средняя глубина сезонно-талого слоя (СТС) составляет 0,7 м, но сильно варьируется в зависимости от ландшафтных и литологических условий. Температура на уровне нулевых годовых колебаний составляет от -1° до -2° С. Добыча и транспортировка нефти обусловили большую техногенную нагрузку на тундровые и лесотундровые ландшафты, отмечены существенные деформации инженерных объектов. Ситуация может ухудшиться, т.к. в регионе за последние 30 лет тренд повышения среднегодовой температуры воздуха составил $0,4^{\circ}$ С за десятилетие.

Для оценки влияния изменения климата на надежность объектов проведено численное моделирование характеристик тепловых полей в грунтах и несущей способности замороженных фундаментов; прогноз выполнен на период ближайших 30 лет и для трех участков с различными мерзлотно-литологическими условиями. Полученные результаты говорят о том, что прогнозируемое в ближайшем будущем потепление климата наиболее заметно скажется на участках с суглинистыми грунтами, такие участки при повышении температур грунта на 1° С показали сокращение несущей способности более чем на 30% (33,6% и 31,5%), в то время как участок, где основную часть разреза занимают песчаные грунты, показал снижение несущей способности всего в 19,2%. Помимо непосредственного снижения несущей способности замороженных свай увеличение мощности СТС скажется на значительно усилении касательных сил пучения, что может повлечь за собой выпучивание опор и деформацию или разрушение сооружений. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 18-05-60080 «Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике».

Криосфера Российской Арктики – отражение современного этапа колебательного развития климата

Шполянская Н.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия
nellashpol@yandex.ru

В конце плиоцена, когда материки уже сгруппировались вокруг полюсов, началось резкое похолодание климата, и 2,5–3 млн л. н. в Арктике возникла криосфера – ледники и вечная мерзлота. Развивались они по-разному. Поскольку ледники получают влагу от западного переноса воздушных масс с Атлантики, первым рос Скандинавский ледник и перехватывал влагу, оставляя низменные районы восточнее себя без ледников. Только в высоких горах (Урал, Быранга, Путорана, хребты Верхоянский и Черского) развивалось горно-долинное или горно-сетчатое оледенение. В результате, в течение плейстоцена формирование крупных ледниковых покровов в северной России, особенно на равнинах, было невозможно. Преобладали области с вечной мерзлотой, которая формировалась и в морском, и в континентальном климате.

Криолитозона развивалась под влиянием радиационных факторов, обеспечивающих чередование холодных и теплых периодов разной длительности, и циркуляционных факторов, обеспечивающих долготную секторность. Криолитозона развивалась по-разному: в Западном секторе Российской Арктики преимущественно в условиях трансгрессии моря и морского осадконакопления, в Восточном секторе – в континентальных условиях при аллювиально-озерном осадконакоплении.

Развитие климата на протяжении истории Земли обнаруживает колебательный циклический характер: прослеживались и длинно-, и короткопериодные колебания. Современное потепление полностью вписывается в общую колебательную схему развития климата и является этапом естественного колебательного его хода, отражая выход из малого ледникового периода. Эта ветвь потепления осложнена более мелкими (11, 30 и 60-летними) циклами потепления и похолодания, тоже неоднократно прослеживаемыми в древних климатах. Ряд особенностей полностью исключает антропогенную природу современного потепления.

Выявляются общие тенденции развития глобального климата. Континенты продолжают начавшееся в конце мезозоя расплывание к полюсам, и это означает направленность к похолоданию. В рамках 40-45-тысячелетних колебаний в плейстоцене-голоцене тоже обнаруживается тенденция в сторону очередного ледникового периода. Развитие современного климата проходит на нисходящей кривой, и все более короткопериодные колебания, разнообразие которых сохранится в будущем, будут проходить при более низких температурах. Современные вековые колебания климата обнаруживают тенденцию к потеплению, поскольку начинается новый вековой солнечный цикл. Потепление будет, по-видимому, недолгим, поскольку оно должно завершиться вместе с окончанием цикла потепления после малого ледникового периода.

Криосфера будет реагировать на это потепление по-разному. Ледники, как более динамичная система, могут продолжить некоторую деградацию. Криолитозона, как высокоинертная система, будет мало реагировать на потепление, как это наблюдается и в настоящее время.

**Георадарные исследования подлёдной гидросети ледника Долк
(Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида)**
Григорьева С.Д.¹, Боронина А.С.¹, Кашкевич В.И.³, Кашкевич М.П.¹, Попов С.В.²,
Пряхина Г.В.¹, Суханова А.А.¹

Санкт-Петербургский государственный университет¹,

АО «ПМГРЭ»²,

ООО «Геофизпоиск»³

grigoreva.svetl@gmail.com

Ключевые слова: подледниковые водоёмы, прорывные паводки, георадиолокация, Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида

В сезон 62-й Российской Антарктической экспедиции, 30 января 2017 года, в западной части ледника Долк образовался обширный провал, разрушивший востребованный участок трассы между станцией Прогресс и аэродромом, а также пунктов формирования санно-гусеничных походов во внутренние районы Антарктиды.

Многолетние наблюдения свидетельствуют в пользу того, что в летние периоды в теле ледника формировалась подлёдная гидросеть, связывающая место образования провала с расположенным южнее озеро Болдер. Авторами было выдвинуто предположение о том, что прорыв этого озера привёл к переполнению водами ранее существовавшего на месте провала малого внутриледникового водоёма и в дальнейшем к образованию провала. Для изучения строения подлёдной гидросети западный участок ледника Долк между провалом и озером Болдер был покрыт крупномасштабной георадарной съёмкой. Геофизические исследования дополнялись детальной тахеометрической съёмкой поверхности ледника. Результаты работ позволили закартировать обводнённые внутриледниковые каналы и сопоставить их положение с характерными особенностями ледникового рельефа.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 18-05-00421 «Особенности формирования и развития паводков подледниковых водоёмов Антарктиды»).

Деградация континентальной и субаквальной криолитозоны западного сектора Российской Арктики при изменении климата

Васильев А.А.^{1,2}, Стрелецкая И.Д.³, Облогов Г.Е.^{1,2}, Малкова Г.В.¹,

Дроздов Д.С.^{1,2,4}, Пономарева О.Е.^{1,4}

¹Тюменский научный центр СО РАН, ²Тюменский государственный университет,

³Московский государственный университет им. Ломоносова, МГРИ-РГГРУ

Результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе Российской Арктики, выполняемого силами ТюмНЦ СО РАН в течение 1995-2017 гг., однозначно указывают на качественное изменение криолитозоны этого региона. На основании наблюдений можно заключить, что в биоклиматических зонах южной тундры, лесотундры и северной тайги развивается новый обширный природный феномен - повсеместная деградация криолитозоны и формирование криолитозоны с опущенной кровлей мерзлоты до глубины 3-10 м и мерзлыми перелетками. Это новое неизученное природное явление с неустановленными географическими границами, не выявленными закономерностями формирования и развития нового типа криолитозоны. Можно лишь констатировать, что континентальная криолитозона здесь завершает этап более или менее стабильного состояния и переходит в новое качественное состояние неустойчивости и изменение условий природопользования за счет новых свойств оттаивающих отложений: изменения несущей способности пород, смещения границ биоклиматических зон, изменения условий традиционного природопользования и других.

Для субаквальной криолитозоны наблюдается аналогичная ситуация. Вследствие потепления климата и повышения температуры придонного слоя воды на 0,5 - 2,5 град. за последние десятилетия в Карском море и ЮВ части Баренцева моря наблюдается ускорение деградации кровли субаквальной мерзлоты, особенно в регионах с близким залеганием кровли мерзлых пород к дну. Для арктических морей западного сектора Российской Арктики не выявлены распространение, условия залегания, мощность, термический режим и другие характеристики мерзлых толщ. Деградация субаквальной криолитозоны меняет ареалы ее распространения, термический режим, свойства и т.д. Меняются условия природопользования, главным образом, для нефтегазового освоения.

Приведены результаты многолетнего мониторинга криолитозоны на четырех ключевых участках: мыс Болванский (Европейский Север), Марре-Сале (Западный Ямал), Уренгой (южная часть Тазовского п-ова) и района г. Надым. Установлены основные особенности деградации мерзлых толщ: понижение кровли мерзлоты во времени, уменьшение мощности слоя годовых теплооборотов, образование тепловой завесы, переход среднегодовой температуры пород через «0» и другие.

Выполнено предварительное районирование шельфа Карского и ЮВ части Баренцева моря по условиям изменения придонной температуры. Выявлены регионы с максимальным увеличением температуры придонного слоя воды и на основе математического моделирования оценена скорость деградации субаквальной мерзлоты. Наиболее типичной является понижение кровли субаквальной мерзлоты на 2-5 см/год. Это позволяет разработать схематическую карту районирования шельфа Карского и ЮВ части Баренцева морей по условиям деградации субаквальной криолитозоны.

Работы выполнены благодаря программам РАН и СО РАН, грантам РФФИ (№ 18-05-60004, 16-05-00249, 16-45-890257-ЯНАО, 18-55-11005), РФФИ (№ 16-17-00102), контракту Минобрнауки № 14.587.21.0048, международным программам TSP, CALM, GTN-P, PEEX, SWIPA, GCW, SODEEP, администрации ЯНАО, предприятиям ГазпромДобычаНадым, ГазпромДобычаУренгой, Нортгаз.

Распространение и динамика островной мерзлоты в пойме реки Печора. Результаты комплексного геокриологического и геофизического мониторинга в Ненецком автономном округе

**Малкова Г.В.¹, Садуртдинов М.Р.¹, Скворцов А.Г.¹, Царев А.М.¹, Коростелев Ю.В.¹,
Судакова М.С.^{1,2}**

1 - Институт криосферы земли ТюмНЦ СО РАН

2 – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Территория НАО составляет около 176 тыс.км², и 93% этой площади расположены в криолитозоне. В области сплошного распространения ММП расположено 48% территории округа, в области прерывистого распространения – 13%, а в области островного и редкоостровного – 32% территории, это южные и западные районы НАО, а также широкая пойма реки Печора, пересекающая территорию округа в субмеридиональном направлении. Крупная р.Печора оказывает существенное тепляющее воздействие на состояние мерзлых толщ в регионе. Однако в дельте Печоры локально развиты остаточные фрагменты низких надпойменных или аллювиально-морских террас, где острова мерзлоты еще сохранились.

Мониторинг геокриологических условий поймы и останцов II и I террас в дельте Печоры осуществляется с 2009 г, когда был организован стационар «Кашин», включающий участки «Остров Кашин» и «Кумжа». Оба участка расположены в природной зоне южной тундры, в области редкоостровного распространения ММП. На территории стационара расположены две площадки наблюдения за глубиной СТС (CALM) и 7 действующих температурных скважин глубиной 3-10м в различных криогенных ландшафтах. Основные сведения о геокриологических условиях этой территории получены в результате бурения неглубоких скважинах, опробования талых и мерзлых пород, термометрических наблюдений на специальных площадках и в скважинах, а также комплекса геофизических работ (георадиолокации и сейсморазведки).

Результаты геокриологического и геофизического мониторинга на площадках позволили получить важные выводы о состоянии и динамике неустойчивой островной мерзлоты в дельте Печоры:

- Сезонные колебания температуры пород в пределах мерзлых островов ограничиваются активным слоем (СТС), мощность которого не превышает 3 м, а ниже ММП имеют квазистационарный режим, и их температура близка к 0°C. Мощность ММП по геофизическим данным колеблется от 6 до 30м.

- На участках развития несквозных таликов кровля ММП залегает на глубинах от 3-5 до 9-12м. Анализ геофизических данных за период 2015-2017 гг. показал, что среднее опускание кровли ММП составило около 0,6м, а максимальные значения достигли 1,5м.

- Сейсморазведка используется как опорный метод для идентификации основных геокриологических границ на ключевых участках исследуемой площади и обеспечивает достоверное определение глубины залегания опущенной кровли ММП. С помощью георадиолокации осуществляется оперативное определение глубины СТС, детальное расчленение литологического разреза, а также прослеживание в верхних частях разреза маломощных линз и прослоев перелетков.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФ (проект № 16-17-00102).

Распространение подводной мерзлоты на шельфе арктических морей

Григорьев М.Н., Максимов Г.Т.

*ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск,
ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия*

Обширные области арктического шельфа заняты вечной мерзлотой. В периоды прошлых морских регрессий большие площади мелководного шельфа арктических морей были осушены и промерзали на большую глубину. В настоящее время реликтовые континентальные ММП в значительном объеме сохранились в субаквальном состоянии.

Подводная мерзлота или субаквальные многолетнемерзлые породы (СММП) в арктических морях изучена крайне слабо. Достоверно неизвестны ни ее мощность, ни контуры распространения на относительно приглубом шельфе. Установлено активное преобразование льдистых многолетнемерзлых пород в мелководной зоне арктического шельфа. Данные, полученные по немногочисленным буровым профилям на прибрежном мелководье, в проливах, а также по единичным скважинам на среднем шельфе показывают значительные вариации в уклонах кровли и темпах деградации мерзлоты сверху, при довольно «высоких» температурах (-1, -1,5°C) в ее толщах на расстоянии уже в первых километрах от берега. Средний уклон (от берега) кровли подводной мерзлоты в прибрежно-шельфовой зоне морей Восточной Сибири составляет 0,011 (0,62°). Установлено, что скорость деградации верхних горизонтов реликтовых СММП составляет первые десятки сантиметров в верхней части подводного берегового склона, уменьшаясь до долей сантиметра в год в нижней его части. Эта скорость определяется динамическим режимом береговой зоны, составом, строением и мощностью залегающих на кровле мерзлоты осадков, температурой и соленостью придонного слоя воды, а также характером гидролитодинамических процессов в прибрежной зоне шельфа. Возможное распространение подводной мерзлоты на шельфе предполагается до глубин около 100 м, но, в действительности, контуры ее площадей могут быть невероятно сложны.

Потепление Арктики и криоморфодинамика мелководий морей Восточно-Сибирского и Лаптевых

Гаврилов. А.В., Пижанкова Е.И.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
геологический факультет*

В арктических морях современное потепление усиливается обратными связями. Особую роль играет деградация морских льдов, уменьшающая альбедо. По данным Росгидромета по сравнению с 1965—1975 гг. в Восточно-Сибирском море ледовитость сократилась на 31 %, а продолжительность ледового периода - на 40 суток. Среднегодовая температура придонной воды и донных отложений на изобатах 2...10 м повысилась до положительных значений (+0,2...0,3°C, Dmitrenko et al., 2011). Исключением явилась температура в зоне припая (изобаты 0-2 м), где лед смерзается с дном, обеспечивая выхолаживание донных осадков и сохранение в их толще температуры -10...-12°C. Потепление увеличивает объем поступающего на подводный береговой склон дисперсного материала, способного к перемещению, за счет роста темпов отступления берегов (Пижанкова, 2016) и многолетнего оттаивания донных отложений. В результате значительная его часть расходуется на аккумуляцию.

В течение веков дно мелководий восточно-сибирских морей, возникших на месте разрушенных термоабразией островов-реликтов ледового комплекса позднего плейстоцена, постоянно углублялось (Гаврилов и др., 2003). С 2000-х гг. по результатам мониторинга на Васильевской и Семеновской банках выявлена стабилизация глубин (Дударев, 2016). Осенью 2013 г. на месте первой из них, был зафиксирован остров в виде кольца. Он был назван Яя (Гуков, 2014). Недавно стали обозначаться на топографических картах о. Затопляемый в 60 км к востоку от дельты р. Лены, острова Неизвестные у юго-восточного ограничения Земли Бунге.

Механизм формирования островов дискутируется. Наиболее согласуется с имеющимися данными участие в их образовании торосистых льдов - стамух и промерзания пород в полосе припая и надводном положении. Оттаявшие и талые осадки, приобретающие подвижность, в результате волнения, нагонов, штормов аккумулируются вокруг смерзшихся с дном стамух как у береговой линии. Стамухи стаивают, а промерзшие за зиму осадки в виде кольца, опоясывающего стамуху, остаются.

Острова на мелководьях в форме атолла, образовывались и в прошлом Они отражены на топографических картах 1950-80-х гг. Это о-ва Песчаный и Наносный в восточно-арктических морях, о. Северный в Карском море. Форма атолла является весьма необычной для островов арктических морей. Возможность их формирования по описанному выше сценарию представляется весьма реалистичной.

Температурный мониторинг многолетнемерзлых грунтов в естественных и антропогенно-нарушенных условиях

Воропай Н.Н.^{1,2}, Киселев М.В.¹, Черкашина А.А.²

¹ *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск*

² *Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск*

Территория исследования Тункинская межгорная котловина, которая находится на стыке хребтов Тункинские гольцы и Хамар-Дабан, относится к зоне островного распространения многолетнемерзлых толщ и характеризуется высокой континентальностью климата, разнообразием ландшафтных условий (от степных до горнотаежных и гольцовых в диапазоне высот 700-3500 м над ур.м.), форм рельефа и почвообразующих пород.

Сотрудниками ИГ СО РАН в рамках комплексных географических исследований в 2007 г. организованы мониторинговые наблюдения за природно-климатическими характеристиками ландшафтов Тункинской котловины. В 2011-2012 гг. начаты круглогодичные наблюдения за температурой и влажностью почвы (от подстилающей поверхности до 10 м). Наблюдения проводятся в автоматическом режиме через 1 час на 21 площадке, которые расположены на участках с сезонно-протаивающими (заболоченная территория) и сезонно-промерзающими почвами (песчаные массивы, таежные и лесостепные участки). Для мониторинга используется разработанный и изготавливаемый ИМКЭС СО РАН атмосферно-почвенный измерительный комплекс АПИК-03. На модельных площадках заложены почвенные разрезы и буровые скважины на различных подстилающих породах для оценки влияния физико-химических свойств почв и грунтов на особенности гидротермического режима. Отобрано более 200 почвенных проб. До глубины 1,5 м отбор проб производился из почвенных разрезов, а на глубине 1,5-10 м – при помощи буровой установки. В пробах проанализированы влажность, гранулометрический состав, объемный вес (плотность), содержание органического вещества и др.

В течение года колебания средних суточных температур воздуха на площадках синхронны. Но за счет различий в растительном покрове микроклиматические разности суточных температур воздуха достигают 4-5°C. На поверхности почвы различия между средними суточными температурами чуть выше (7-9°C). Распространение тепла в почве на площадках также различно. Поглощение теплового излучения почвой зависит от ряда факторов. К факторам, определяющим температурный режим почв, относятся: цвет поверхностных горизонтов, влажность и аэрация, которая зависит от гранулометрического состава и структуры почвы, экспозиция склонов, тип растительного покрова или его отсутствие.

Концепция изучения и сбережения многолетней мерзлоты в связи с освоением АЗРФ

Дубровин В.А.¹, Дроздов Д.С.^{2,3,4}

¹ *ФБГУ Гидроспецгеология, ²Тюменский научный центр СО РАН,*

³Тюменский государственный университет, ⁴МГРИ-РГГРУ

Криолитозона, наряду с шельфом, высокогорьем и сейсмоактивными районами, является особой областью хозяйствования, отличающейся повышенным экологическим риском ведения работ на всех стадиях. Современное потепление климата в высоких широтах значительно повысило риски в строительстве и недропользовании в АЗРФ. Ожидаемое похолодание климата приведет к промерзанию протаявших грунтов оснований зданий, линейных сооружений, добывающих скважин и т.п., что обусловит новые непредсказуемые последствия. Однако достаточных метео-мерзлотных данных для принятия рациональных управляющих решений нет. Подавляющее большинство региональных и мониторинговых материалов требуют проверки и актуализации, что требует активизации соответствующих работ в Арктике и Субарктике.

Однако складывается прямо обратная противоестественная ситуация: по сравнению с концом прошлого века финансирование работ "мерзлотной" направленности во всех ведомствах существенно сократилось. Это относится даже к районам широкомасштабного освоения Севера Западной и Восточной Сибири, не говоря уже о всей криолитозоне. Современная геокриологическая, инженерно-геологическая и гидрогеологическая изученность криолитозоны крайне низкая, при том что количество лицензионных участков недропользования уже превысило шестисот, а ведь известно, что и экологические кризисы, и катастрофы наступают там, где темпы научного обеспечения значительно уступают темпам освоения. Влияние криолитозоны на формирование экологической обстановки при недропользовании априори является ключевым, и это должно тщательно учитываться при разработке научных программ и нормативных документов, определяющих параметры освоения. Необходима разработка и принятие концепции изучения и сбережения вечной мерзлоты, как необходимого элемента стратегии развития АЗРФ.

Таким образом, основные проблемы, риски освоения и недропользования в криолитозоне обусловлены: (а) сложностью и мозаичностью геокриологического, гидрогеологического строения и теплового состояния криолитозоны, включая шельф арктических морей; (б) недостаточной изученностью осваиваемых регионов криолитозоны (в т.ч. открытием новых или ранее малоизвестных свойств мерзлых толщ, касающихся микробиологического и газового составов вмещающих пород, которые могут оказаться как полезными, так и крайне опасными для экологической обстановки); (в) отсутствием ясной картины того, как должно происходить экологически безопасное хозяйствование в регионах распространения вечной мерзлоты, включая АЗРФ – то есть концепции и общей системы изучения и освоения регионов криолитозоны.

Работа выполнена благодаря программам РАН и СО РАН, грантам РФФИ (№ 15-55-71004\15, 16-05-00249, 16-45-890257-ЯНАО, 18-55-11005), РФФИ (№ 16-17-00102), контракту Минобрнауки № 14.587.21.0048 международным программам TSP, CALM, GTN-P, PEEX, SWIPA, GCW, SODEEP, администрации ЯНАО, предприятиям ГазпромДобычаНадым, ГазпромДобычаУренгой, Нортгаз.

О возрасте многолетнемерзлых отложений и гетерогенных залежей льда

Марре-Сале, Западный Ямал

Слагода Е.А.^{1,2,3}, Опокина О.Л.^{1,3}

¹*Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень,*

²*Тюменский государственный университет, Тюмень*

³*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

eslagoda@ikz.ru

Проблема генезиса пластовых льдов связана с решением вопросов об их строении, распространении, механизмах льдовыделения и последовательности формирования элементов гетерогенных залежей в конкретных геолого-геоморфологических условиях. Без определения условий накопления, возраста осадков и типов промерзания отложений вмещающих льды, решение этой проблемы остаётся некорректным. Возраст вмещающих и перекрывающих льды отложений - основа для определения времени и этапов формирования льда, следов промерзания и протаивания в разрезе.

Подземные льды м. Марре-Сале Западного Ямала имеют длительную историю изучения. В разные годы исследователи, изучая один разрез, расходились в описаниях морфологии, строения и количестве залежей льда; относили льды к погребенным шельфовым ледникам, глетчерам; внутригрунтовым инъекционным, повторным инъекционным и повторно-жильным льдам, к сложным залежам из инъекционных, трещинных и жильных льдов. Способствует продолжению дискуссии о генезисе залежей м. Марре-Сале сходство отдельных признаков ледяных тел, например - складчатость, вертикальная полосчатость льда, отложений и др.. Интерпретацию морфологии, состава, макро-, микро- текстуры и структуры льда осложняют фрагментарная доступность и ежегодное разрушение выходов залежей льда в обнажениях.

Данные о возрасте и строении геокриологического разреза м. Марре-Сале уточнили относительную последовательность формирования верхней сложной пластовой залежи, полигонально-жильных и клиновидных вертикально-полосатых льдов.

Сингенетические полигонально-жильные льды залегают в озерно-аллювиальной толще, возраст которой составляет 5-15 тыс. лет, т.е. полигонально-жильная система, находящаяся в парагенезисе с лакколитами верхней залежи, формировалась во второй половине сартанского периода - первой половине голоцена. Верхняя сложная залежь льда с горизонтальными участками, слоистыми, массивными лакколитами (первая генерация) и секущими клиновидными ледяными телами формировалась в этот же период, но позднее - после образования полигонально-жильных льдов и промерзания верхней части таликов, при промерзании нижних частей разобщенных таликов обширной термокарстовой депрессии 3-й равнины. Верхняя залежь имеет признаки всестороннего промерзания разных объемов внутригрунтовой воды, суспензии поступавшей из нижележащих и вмещающих пород - инъекционного и сегрегационного льдообразования: поступление минеральных, органических примесей из толщи, пересечение прослоев льда; деление на четкие слои льда и грунта; ориентировка микролинзовидной текстуры. Клиновидные инъекционно-сегрегационные вертикально-полосчатые льды секут верхнюю залежь льда как снизу, так и сверху. Секущие снизу клиновидные, трещинные льды (вторая генерация), формировались в результате инъекций воды при промерзании песчаных плавунцов, расположенных ниже верхней залежи на разной глубине. Клиновидные льды проникающие сверху (третья генерация) в верхнюю залежь, предположительно, представляют каналы и нижние части ядер бугров пучения. В позднем голоцене, после 3 тыс. лет, верхние части лакколитов, клиновидных тел частично вытаяли, на сопредельных участках развивался термокарст, формировались молодые полигонально-жильные льды.

Баланс природных и социально-экономических рисков и новых возможностей в арктической зоне России при изменении климата в 21 веке

Анисимов О.А.¹, Белолуцкая М.А.¹, Жильцова Е.Л.¹

¹*Государственный гидрологический институт, 199053 С.Петербург, 2-ая Линия В.О., 23*
oleg@oa7661.spb.edu

Важной задачей является адаптация к изменениям климата с учетом баланса климатических рисков и новых потенциальных возможностей, а также неопределенности климатических проекций.

Проведенный по 39 моделям СМIP5 анализ показал, что наибольшую неопределенность имеют проекции зимней (межмодельный разброс более 100%) и летней (до 80%) температуры в северо-западном ФО, притом, что оценки осадков имеют в этом регионе наименьшие расхождения. В остальных регионах предсказуемость температуры воздуха значительно выше (разброс 25% - 40%), разброс осадков составляет 40% - 60%, в отдельных регионах для летних осадков до 150%.

Нами были построены прогностические карты геокриологических рисков, обусловленных деградацией многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Они дают оценку изменения несущей способности свайных фундаментов и вероятности развития деструктивных геоморфологических процессов, таких как термокарст, солифлюкция, пучение и просадка грунта. Эти процессы определяют риски повреждения линейных сооружений. Карта индекса геокриологического риска для середины 21 века была разработана во взаимодействии с ГК «Транспортная интеграция», предоставившей актуальные данные о сети транспортной инфраструктуры федерального и регионального уровня. Была достигнута договоренность о том, что Якутия станет пилотным регионом, в котором Министерство Транспорта РФ будет использовать полученные результаты для адаптации дорожной сети к предстоящим изменениям климата и многолетней мерзлоты.

Были проведены расчеты изменения границ растительных зон и биопродуктивности. Принципиально новым стал переход от относительных изменений продуктивности, характеризуемых индексом NDVI, к абсолютным, выраженным в количестве поглощенного каждой растительной зоной углерода. Это позволило ответить на главный вопрос о том, как прогнозируемое увеличение фотосинтетического поглощения углерода соотносится с сопутствующим усилением его эмиссии из ММГ. Результаты указывают на то, что к концу 21 века даже при фиксированном на современном уровне положении границ биомов суммарная продуктивность растительности криолитозоны Северного полушария увеличилась бы на 1,3 Пг С/год. С учетом экспансии более продуктивных биомов на север увеличение составит 3,2 Пг С/год. Это более чем в три раза превышает прогнозируемое увеличение эмиссии углерода из почвы криолитозоны, составляющее, согласно оценкам, около 1 Пг/год.

Исследование проводится при поддержке РНФ, проект 14017-00037 государственного гидрологического института.

Влияние колебаний термического режима на жизнедеятельность населения заполярных территорий Сибири

Максютова Е.В., Башалханова Л.Б.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск

emaksyutova@irigs.irk.ru; ldm@irigs.irk.ru

Жизнь и деятельность населения на заполярных территориях Сибири происходит под воздействием продолжительного (около полугода) периода ультрафиолетового голодания и нарушения смены светового дня, низких температур воздуха в сочетании с частой повторяемостью высоких скоростей ветра и резких погодно-климатических контрастов. Здесь выделяются территории с жестким и крайне жестким уровнями дискомфорта климата.

Колебания температурного режима последних десятилетий являются одним из важнейших составляющих теплообмена организма человека с внешней средой.

В работе проведен анализ возможного влияния колебаний термического режима последних десятилетий (1981-2010 гг.) на условия жизнедеятельности населения. Выявлены тенденции в изменении числа дней с низкими температурами в отдельные месяцы. Были использованы данные суточного разрешения [<http://www.meteo.ru>] для определения числа дней со среднесуточными температурами воздуха в различных пределах: ≤ -5 , ≥ 5 , ≥ 10 , ≤ -25 , ≤ -30 °С. С этими пределами условно связывают продолжительность сезонов (соответственно зимнего, вегетационного, летнего), а также всевозможных проблем связанных как с ограничением пребывания человека на открытом воздухе, так и эксплуатацией техники из-за увеличения числа поломок при низких температурах.

На исследуемой территории за период 1981-2010 гг. выявлен рост температуры в целом за год и обусловлен он преимущественно сокращением низкотемпературного периода. Пространственно-временной анализ показал, что наибольшие колебания температуры происходили в январе и феврале, однако при этом среднемесячная температура в эти месяцы к востоку от 80° в. д. оставалась ниже -30 °С, за исключением островных и прибрежных территорий. Число дней с температурами ниже -25 °С остаются в пределах многолетних значений. Исключение составляют территории к западу от 80° в. д. с более высокими температурами. Однако на этих территориях ведущее влияние на условия теплового состояния человека имеет ветровой режим.

Анализ пространственно-временных колебаний комплексных показателей выявил, что на данном этапе климатические условия проживания населения на заполярных территориях Сибири остаются в пределах многолетних величин и характеризуются крайне жестким и жестким уровнями дискомфорта.

Прогнозирование социально-экономических ущербов в ареалах деградации многолетнемерзлых пород Арктической зоны России

Бадина С.В,

Разработана методика оценки потенциальных социально-экономических ущербов от природных опасностей на уровне муниципальных образований (далее МО). В основе методики лежат два интегральных индекса:

1. Индекс плотности социально-экономического потенциала территории. Отражает предельные потенциальные прямые и косвенные ущербы на единице площади хозяйственно освоенной части территории МО. Параметры индекса: численность населения, стоимость основных фондов и объем валового производства, соотнесенные на площадь застроенных земель МО.

2. Индекс пространственной уязвимости социально-экономического потенциала территории. Отражает вероятность попадания сконцентрированного на территории социально-экономического потенциала в зону действия природной опасности. Рассчитывается как произведение численности населения, стоимости основных фондов и объема валового производства на коэффициент пространственной уязвимости, численно равный доле застроенных земель в общей площади земель МО.

Методика апробирована на Арктической зоне России, где размеры МО чрезвычайно велики и особенно важно при прогнозировании потенциальных ущербов на мелкомасштабном уровне исключать из рассмотрения «пустые» пространства. Были созданы базы данных необходимых социально-экономических показателей МО, предложены способы оценки недостающих параметров. Муниципальный уровень в России очень слабо обеспечен статистическими данными, преимуществом методики являются разработанные способы дооценки значимых параметров (основных фондов МО, некоторых отраслей, формирующих добавленную стоимость). Рассмотрены перспективные инвестиционные проекты Арктической зоны России и рассчитано изменение плотности и уязвимости социально-экономического потенциала при их реализации, а, соответственно, и общего уровня риска.

Сопоставление рассчитанных индексов с динамическими моделями деградации вечной мерзлоты позволили определить зоны максимального риска в среднесрочной перспективе.

Радиоэкологические исследования в баренцевоморском прибрежье как элемент оценки радиационных рисков

Ильин Г.В., Усягина И.С.

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

В Баренцевом море наиболее значимым источником радиологических рисков является хранилище РАО в губе Андреева. Риски связаны с состоянием хранилища, а в настоящее время - с вывозом радиоактивных отходов морским путем на переработку. Возникает необходимость в современной информации о радиоэкологическом состоянии морской среды и изменениях под воздействием природных или техногенных факторов в местах перегрузки РАО и по маршруту морских перевозок. Соответствующие исследования были проведены Мурманским морским биологическим институтом в 2013-2014 и 2017 гг. Цель исследования – получить новые данные и проанализировать влияние потенциальных радиационно-опасных работ на состояние морской среды в прибрежье Кольского полуострова, изучить экосистемы с хроническим источником радиоизотопного загрязнения.

После аварии в хранилище в 1982 г. содержание техногенных радиоизотопов в морской среде было минимизировано естественными процессами и сейчас уровень активности радионуклидов в губе Западная Лица и Мотовском заливе низкий. Но в губе Андреева последствия аварии до сих пор определяют повышенное содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ в воде и донных осадках. В отложениях повышенная концентрация радионуклидов сохраняется и в погребенных слоях до 16 см. Сток из губы Андреева трассируется радионуклидами и образует ареал повышенной радиоактивности в Мотовском заливе. Однако уровень суммарной активности изотопов повсюду ниже норм радиационной безопасности. Максимум концентрации ^{137}Cs отмечен в верхнем слое стока слабо солёных вод. В придонных горизонтах его концентрация ниже и соответствует таковой в морской воде. В Кольском заливе его содержание у поверхности и у дна выравнено, но заметно возрастает от кутовой части к устью залива. Максимальная концентрация достигается в районе губ Оленья и Сайда. Эти концентрации в целом невелики, но выше, чем в Мотовском заливе и в открытых частях моря.

Средняя концентрация ^{137}Cs в Мотовском заливе одинакова в 2014 и 2017 гг. – 1,6 Бк/м³, а в воде Кольского залива она повышена до 2,5 Бк/м³.

При анализе донных осадков отмечена та же тенденция. Отложения в Кольском заливе намного более загрязнены, чем в Мотовском заливе. В открытом море содержание цезия оценивается в 2-3 раза ниже. Средние концентрации ^{137}Cs в осадках Мотовского залива варьируют от 2,5 Бк/кг в 2014 году до 1,7 Бк/кг в 2017 году. В осадках Кольского залива средняя концентрация возрастает до 5 Бк/кг. В осадках губы Андреева концентрация ^{137}Cs и ^{90}Sr на порядок выше.

Полученные материалы могут рассматриваться как элементы мониторинга радиоэкологического состояния прибрежных акваторий и как необходимая информация для развития морехозяйственной деятельности и комплексного управления прибрежными зонами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60249.

**Ледотехнические аспекты создания объектов транспортной
инфраструктуры и разведочного бурения в Арктике**
Кубышкин Н.В.², Бузин И.В.¹, Головин Н.В.¹, Гудошников Ю.П.¹, Замарин Г.А.¹,
Скутин А.А.¹

1 – ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург

2 – ООО «Арктик Шельф Консалтинг», Санкт-Петербург

Начиная с середины нулевых годов наблюдается устойчивое расширение хозяйственной деятельности в российском секторе Арктики, в ходе которого применяются технологии с использованием ледяного покрова в качестве элемента инфраструктуры, а самого льда – как строительного материала. В настоящее время сложились различные подходы к использованию природного и искусственного льда для решения прикладных задач на арктическом шельфе. В частности, при проведении морских операций с разгрузкой судов на припайный лед чаще всего практикуется расчистка поверхности льда от снега и торосов с перекрытием трещин деревянными или стальными мостами и настилами. При недостаточной толщине льда используется намораживание дополнительного верхнего слоя льда требуемой толщины (как правило, путем послойного налива пресной или морской воды). При создании взлетно-посадочных полос на дрейфующем льду заделка трещин осуществляется бутованием снегом с заливкой водой. При сооружении искусственных ледяных островов ледяной массив создается методом дождевания с частичным замерзанием капель воды в воздухе и последующим смерзанием двухфазных элементов (кристаллов льда в жидкой оболочке) на поверхности ледяного покрова.

Морской лед является многофазным поликристаллическим материалом с различным сочетанием и соотношением конжеляционного, внутриводного, инфильтрационного льда. Морской ледяной покров представляет собой сложное образование с неоднородным распределением ровного льда, торосов. Обычное явление на льду – трещины различного происхождения. Технологии обработки льда, как несущей площадки и строительного материала, в основном сохраняются на уровне второй половины прошлого века. Для улучшения качества образующегося льда могут быть использованы различные добавки: ледяной щебень, опилки, армирование досками и др. материалами.

Современная ледотехническая практика требует поиска и внедрения новых технологий ледовых работ. Одним из направлений является использование более совершенных технических средств и методов их эксплуатации, адаптированных к ледовым условиям. В данном направлении новая техника (методы) апробируются непосредственно в процессе прикладных полевых работ. Второе направление – разработка методов создания льда с заданными свойствами (армирование льда полимерными волокнами, создание модифицированного льда) представляется весьма перспективным, однако здесь поиск идет пока на уровне лабораторных экспериментов.

Мерзлотно-ландшафтная информация как основа прогноза при потеплении Российской Арктики

Тумель Н.В., Зотова Л.И.

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Россия

ntumel@mail.ru

Рассматриваются тенденции изменения ряда мерзлотных характеристик при потеплении климата в XXI веке с использованием ландшафтной и серии мерзлотных карт, опубликованных в Атласе Российской Арктики 2013 года. В ближайшие 20-30 лет радикальных изменений в криолитозоне не прогнозируется. Повышение среднегодовой температуры мерзлых пород ожидается в пределах 0,1-0,2°C. Оно минимально в островах мерзлых торфяников у южной границы и максимально в песках южной тундры полуостровов Ямал, Таз, Гыдан (68° с.ш.). Глубина сезонного протаивания, как и среднегодовая температура пород, определяется не только климатическими изменениями, но и ландшафтно-грунтовой ситуацией. Протаивание в торфе увеличится на 2-5 см, что представляет ощутимую величину только на крайнем севере. Потепление климата в большей степени скажется на состоянии мерзлых пород, их температуре и глубине сезонного протаивания в северо-западном секторе криолитозоны. На крайнем востоке редкие острова сливающейся мерзлоты сохранятся в пределах торфяников. Глубина протаивания в определенных условиях может сократиться по сравнению с современной. Причиной этому будет увеличение теплоизолирующих свойств напочвенных покровов, мощность которых может увеличиться в связи с потеплением. Севернее, на широтах 64-66° с.ш. в суглинках и 64-68° с.ш. в песках должно произойти глубокое протаивание и формирование несливающихся мерзлых пород. Сливающийся тип современной мерзлоты почти везде сохранится. В последней трети XXI века криолитозона на Европейском Севере сократится за счет ее современной западной окраины. Материалы доклада подготовлены в рамках гранта РФФИ № 18-05-60080 «Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике».

Термоденудационные процессы на Центральном Ямале: результаты мониторинга

Хомутов А.В.^{1,2}, Дворников Ю.А.¹, Кизяков А.И.³, Лейбман М.О.^{1,2}, Бабкина Е.А.¹,
Бабкин Е.М.¹, Муллануров Д.Р.^{1,4}, Хайруллин Р.Р.^{1,5}

¹ *Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия;*

² *Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия;*

³ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Москва, Россия;*

⁴ *Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия;*

⁵ *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*
akhomutov@gmail.com

Климатические колебания последних лет, включая экстремально теплые 2012 и 2016 гг., привели к активизации криогенных оползней течения, причиной формирования которых является достижение сезонным протаиванием кровли залежеобразующих пластовых (ПЛ) и полигонально-жильных (ПЖЛ) льдов на склонах и протаивание верхней части залежей этих льдов. В результате оползания материала вниз по склону и обнажения льда в стенках отрыва формируются специфические отрицательные формы рельефа – термоцирки (ТЦ), динамика которых определяется мощностью ледяной залежи, климатическими и геоморфологическими факторами. Озерные котловины, образованные на месте найденных в 2014 г. воронок газового выброса (ВГВ), развиваются также при обрушении стенок над вытаивающим ПЛ. Мониторинг ключевых ТЦ на стационаре «Васькины Дачи», в районе ВГВ-1, а также отступления её стенок, показал, что различия в величинах ежегодного прироста площади этих форм рельефа объясняются как разницей в их начальных размерах, так и отличиями климатических условий из года в год. Значительное влияние оказывают также экспозиция склона (обращенные на юг стенки отступают быстрее), уклон и протяженность склона (определяют вынос материала), удаленность изначальной чаши ТЦ от вершины поверхности, в которую он врезан (потенциальную энергию оползания), тип залежи подземного льда (ПЛ отличаются более благоприятным соотношением породы и воды по сравнению с ПЖЛ). ТЦ периодически стабилизируются, но могут активизироваться при благоприятном сочетании условий. Так в 2012 г. активизировался один из наблюдаемых ТЦ, в то время как другие образовались на стабильном склоне. Возникновение ВГВ в непосредственной близости от термоденудационных форм рельефа приводит к вовлечению образованной при выбросе формы в общий спектр рельефообразующих процессов этой территории. Активное развитие вблизи от ВГВ термоденудационных процессов, аналогичных проявляющимся на участках без воронок, показывает, что этот процесс на разных участках связан с влиянием климатических изменений на толщу многолетнемерзлых пород с ПЛ. Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60222, работы по участку ВГВ-1 выполнены при финансовой поддержке РНФ (грант 16-17-10203). В 2014-2017 гг. экспедиции организованы при поддержке НП «МЭЦ «Арктика» и НП «Российский центр освоения Арктики».

Мониторинг изменения рельефа торфяника с вытаивающим полигонально-жильным льдом в районе с. Газ-Сале (ЯНАО)
Бабкин Е.М.¹, Хомутов А.В.^{1,2}, Бабкина Е.А.¹, Дворников Ю.А.¹, Хайруллин Р.Р.^{1,3}
¹ *Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия;*
² *Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия;*
³ *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*
akhomutov@gmail.com

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 полигонально-жильных льдов (ПЖЛ) отмечается активизация процессов, связанных с их вытаиванием. Климат севера Западной Сибири, начиная с 2012 г., периодически характеризуется аномальными значениями температуры воздуха, что не может не сказаться на динамике глубины протаивания и активизации криогенных процессов. Теплый сезон 2016 г. был особенно жарким в северных районах Западной Сибири. Поэтому изучение динамики участков с вытаивающими ПЖЛ, является актуальным в настоящее время с позиции влияния климатических колебаний. Для оценки темпов изменения рельефа торфяника с вытаивающими ПЖЛ в районе с. Газ-Сале под влиянием естественных криогенных процессов (термокарст, термоэрозия), запущенных климатическими колебаниями методами инструментального и аэровизуального мониторинга решаются следующие задачи: 1) анализ динамики рельефа дневной поверхности торфяника на основе данных наземной топографической съемки, а также съемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА); 2) сопоставление разновременных цифровых моделей рельефа; 3) оценка влияния климатических изменений на многолетнемерзлые породы в районе исследований. За период 2016-2017 гг. на ключевом участке были проанализированы данные по глубине протаивания. Эти данные были сопоставлены с данными по глубине протаивания на торфянике в пределах геокриологического стационара «Васькины Дачи» (Центральный Ямал). На обоих участках в 2017 г. глубина протаивания меньше в среднем на 4% по сравнению с 2016 г. у торфяника Газ-Сале и на 27% на торфянике «Васькины дачи». Для оценки темпов деградации ПЖЛ и изменения рельефа проанализировано динамика 10 полигонов торфяника, охваченных тахеометрической съемкой в 2016 г. и повторно в 2017 г. Повторная съемка показала, что площадь полигонов уменьшилась на величину от 4 до 43 м² (от 2 до 11%)., к 2017 г. были осушены канавы, имевшие в 2016 г. глубину до 3 м и по большей части затопленные. Сравнение цифровых моделей рельефа показало, что полигональные канавы стали глубже на 16-87 см. Дальнейший мониторинг торфяника с изучением теплового влияния автодороги и в сочетании с данными о криолитологическом строении позволит более четко представлять направление и темпы эволюции рельефа криолитозоны в этом районе. В 2016-2017 гг. полевые работы организованы при поддержке Департамента по науке и инновациям ЯНАО и НП «Российский центр освоения Арктики».

Воронки газового выброса как следствие региональных и локальных изменений климата и теплового состояния пород
Бабкина Е.А.¹, Хомутов А.В.^{1,2}, Дворников Ю.А.¹, Бабкин Е.М.¹, Муллануров Д.Р.^{1,3}, Лейбман М.О.^{1,2}

¹ *Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия;*

² *Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия;*

³ *Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия;*

ea_pereval@mail.ru

Экстремальные климатические события в 2012-2016 гг. повлияли на глубину протаивания в различных ландшафтах в сторону ее значительного увеличения по сравнению с более холодным предыдущим периодом наблюдений. В 2012 г. глубина протаивания достигла глубины залегания подземных льдов, что послужило причиной резкой активизации криогенных процессов. Также возможно с аномальным увеличением глубины протаивания частично связаны появившиеся в 2012-2013 г. воронки газового выброса. Достаточно длинный ряд наблюдений за глубиной протаивания (с 1993 г.) позволяет оценить динамику глубины протаивания в различных ландшафтах Центрального Ямала в условиях климатических колебаний. Начиная с 2012 г. средние значения глубины протаивания не опускались ниже средних значений предыдущих лет наблюдений даже в более холодные годы. Анализ таких климатических параметров, как суммы положительных и отрицательных температур воздуха, суммы атмосферных осадков теплового периода, толщины снежного покрова, а также анализ глубины протаивания и температуры пород дают возможность оценить влияние климата и теплового состояния пород на образование воронок газового выброса. Работа выполняется при финансовой поддержке РФФ (грант 16-17-10203).

Динамика криоландшафтов в меняющихся условиях среды

Клим Д.О.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Арктические экосистемы уязвимы: основой их является криоландшафты, имеющие своим определяющим фактором многолетнемёрзлые грунты [2]. Лёд, придавая рыхлым грунтам прочность, является термодинамически неустойчивой составляющей, реагирующей на малейшие изменения среды [1].

Часть полуострова Горякова, обращенная к леднику Шокальского, интересна для данного исследования: ландшафты представлены новейшими ледниковыми моренными образованиями, сформированными вследствие отступления ледника.

Данные территории, как и вся Новая Земля, охвачены многолетней мерзлотой [2]. С отступлением ледника температура поверхности грунтов повысилась. Исследования многолетней динамики температуры отмечают цикличность изменений при общей тенденции повышения средних значений температуры воздуха [3]. Следовательно, начнется процесс сезонного протаивания грунтов, развитие новых форм рельефа. На возвышенной части полуострова формируются солифлюкционные террасы.

В понижениях рельефа, где собирается влага, развиваются сплошные мохово-лишайниковые подушки – осваиваются временные водотоки и освобождающиеся от ледника территории. Единичные экземпляры *Saxifraga oppositifolia* занимают весь полуостров, но вблизи новообразовавшихся ледниковых морен развиваются преимущественно *Saxifraga cespitosa*. Научного объяснения этого факта, кроме как возможности развития последних в условиях большей увлажненности и низких температур подстилающей поверхности, пока нет.

Изучение криогенных систем и их динамики необходимо, так как способствует выявлению глобальных закономерностей и прогнозированию дальнейшей адаптации природных сообществ.

Литература:

1. Грунтоведение. Под редакцией академика Е.М. Сергеева. – М.: Изд-во МГУ, 1983. - 392 с.
2. Общее мерзлотоведение (геокриология). Учебник. Под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1978. - 464 с.
3. Семенов В.А. Долгопериодные климатические колебания в Арктике и их связь с глобальными изменениями климата: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. – М., 2010. - 268 с.

Стабилизация органического вещества в почвах высоких широт в условиях быстрых климатических изменений

Зазовская Э.П.¹, Горячкин С.В.¹, Шишков В.А.,¹ Мергелов Н.С.¹, Долгих А.В.¹,
Милановский Е.Ю.^{2,3}

¹Институт географии Российской академии наук

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

³Почвенный Институт им. В.В. Докучаева

zazovskaya@igran.ru

В настоящее время в связи с резкими изменениями климата, мощным антропогенным воздействием и, вследствие этого, нарушений функционирования биосферы почвенное органическое вещество, как источник диоксида углерода в углеродном цикле стало объектом исследования не только почвоведов, но и специалистов климатологов, геохимиков, палеогеографов. Поведение органического вещества (ОВ) многолетнемерзлых грунтов при изменении условий контролируется прежде всего его составом и возможными механизмами стабилизации. Причем изучение механизмов стабилизации ОВ в почвах высоких широт, осложняется особенностями ОВ, которое формируется в экстремальных условиях среды. В первую очередь это имеет значение при изучении почв и почвоподобных тел Антарктики, где источником органического вещества являются не сосудистые растения, а лишь некоторые криптогамные организмы и микробные фотоавтотрофы, и часто содержание органического углерода очень низкое. Тем не менее наши исследования показали, что даже в таких условиях в почвах в оазисах Восточной Антарктиды формируется пул органического вещества устойчивый во времени (Zazovskaya et al., 2017). В условиях высокой Арктики мы наблюдаем в почвах как высокие скорости углеродного обмена (быстрый оборот углерода), так и пул ОВ, который стабилен несколько тысячелетий. Нами получены первые результаты, которые позволяют выявить механизмы физической стабилизации ОВ и предположить, какие физические фракции ОВ являются «особо прочными» и обеспечивают его стабилизацию. Объектами наших исследований стали почвы и почвоподобные тела оазисов Восточной Антарктиды и почвы, формирующиеся на молодых поверхностях в зоне нивально-гляциальных комплексов быстро отступающих ледников на архипелаге Шпицберген. Был применен комплекс инструментальных методов: радиоуглеродное датирование разных фракций ОВ: денситометрических и гранулометрических; анализ стабильных изотопов, ЯМР-спектроскопия. Для радиоуглеродного датирования были выделены следующие фракции: «свободное органическое вещество» (FPOМ) – наиболее короткоживущая фракция ОВ почв; «окклюдированное (внутриагрегатное) органическое вещество (ОРОМ); пул окклюдированного вещества, имеющего большую плотность по сравнению с ОРОМ, в которой преобладают органо-минеральные комплексы, первая тяжелая фракция (HF1); наиболее тяжелая фракция (HF2). Таким образом, было проведено разделение ОВ по устойчивости и возрасту. Были получены гранулометрические фракции с размером частиц 250-100, 100-50, 50-20, < 20 мкм. Возраст полученных фракций сильно варьирует, как для почв Арктики, так и Антарктики от рМС (percent of modern carbon) более 100% до нескольких тысяч лет. Наиболее устойчивое ОВ попадает во фракцию HF1 и имеет размерность <20 мкм. Такое вещество может стабильно существовать в условиях антарктических оазисов несколько тысяч лет. В Арктике, почвы, при быстром таянии ледников, наследуют ОВ, депонированное в теле ледника, которое включается в почвообразовательные процессы и сохраняет свою стабильность.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-04-01475

Изотопный состав углерода современных растений в районах типичных и южных тундр Западной Сибири

Кузнецова А.О.¹, Симонова Г.В., Афонин А.С., Тихонравова Я.В., Нарушко М.В., Слагода Е.А.

Стабильные изотопы используют как для исследований в области физиологии растений и экологии, так и для поиска более точных маркеров изменения палеоклимата. Изотопное фракционирование изотопов углерода происходит во время фотосинтеза и транспирации, определяется климатическими условиями теплого сезона и в разных растениях и их элементах накапливается неодинаково. Сведений об изотопном составе современных растений, особенно мхов и лишайников арктической зоны Западной Сибири недостаточно для корреляции с палеоклиматическими условиями растений и их частей сохраняющихся в погребенном торфе.

В 2016 г. на севере и юге Гыданского полуострова: в районе с. Гыда на III морской террасе и в районе с. Газ-Сале в пределах III надпойменной террасе Пур-Тазовского междуречья отобраны современные растения-торфообразователи и исследованы на изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$. Исследования показали, что различные виды растений и их части (стебли, корни, листья) по-разному накапливают стабильный изотоп углерода $\delta^{13}\text{C}$, отражают концентрацию углерода в воздухе. Исследование показало прямую зависимость обилия стабильного изотопа в растениях от температуры.

Некоторые результаты ледоисследовательских работ на дрейфующей станции СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-2015

Шейкин И.Б., Фильчук К.В., Соколов В.Т.

ФГБУ ААНИИ

Весной 2015 года на дрейфующем льду в районе северного полюса при содействии Министерства Природы РФ, Полярного Фонда, Русского Географического Общества и ААНИИ была организована научно-исследовательская станция «Северный Полюс – 2015», где в течение четырех месяцев проводились работы по комплексному изучению природы высокоширотной Арктики и мониторингу ее состояния. Программа работ, в частности, включала широкий круг задач по изучению состояния ледяного покрова и его изменчивости на фоне глобальных климатических тенденций. В 35 точках полигона, расположенного на участке однолетнего льда, проводились регулярные измерения толщины льда и снега, а также превышения поверхности льда над уровнем моря. Рядом с полигоном отбирались керны для измерений распределения температуры, солености и плотности льда по горизонтам, а также для изучения кристаллического строения и текстуры льда. Состояние верхней поверхности льда, размеры торосов и снежниц определялись с помощью аэрофотоснимков с высоты 500-1000 метров. Дополнительно измерялись глубины снежниц и распределение температуры льда под ними. Состояние нижней поверхности льда и внутриводное ледообразование изучалось с помощью подводной видеосъемки.

Полученная база данных включает 12 декадных циклов измерений, и практически полностью охватывает весенний и летний период, что позволило проследить основные процессы нарастания и таяния однолетнего льда в приполюсном районе, а также получить статистические оценки характеристик ровного льда и их сезонные тренды. В работе представлено сравнение полученных результатов с данными измерений ледового масс баланс буя ЛМБ#2015D, установленного на ледяном поле дрейфующей станции по программе NPEO (North Pole Invironmental Observatory). В целом результаты независимых измерений хорошо согласуются, однако значительное различие имело место в конце июня, когда из-за интенсивного таяния снежного покрова и стока пресной воды наблюдалось увеличение общей толщины льда на полигоне за счет инфильтрационного и внутриводного ледообразования. Подводные видеонаблюдения показали, что в местах стока талых вод вблизи нижней поверхности ледяного покрова образуются слоистые структуры внутриводного льда, разделяющие талые и морские воды, и препятствующие тепло и массообмену. В снежных отвалах аэродрома на поверхности однолетнего морского льда были обнаружены многогранные кристаллы пресного льда, которые обычно встречаются на ледниках и айсбергах.

В докладе представлены некоторые результаты анализа данных, их обсуждение и рекомендации по совершенствованию методики измерений.

Влияние глобального потепления на прочностные характеристики льда в Обской губе

Андреев О.М., Виноградов Р.А., Драбенко Д.В.

*ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»,
Санкт-Петербург*

Рассмотрен вопрос влияния глобального потепления климата в северной полярной области Земли на отдельные характеристики льда акватории северной части Обской губы – района наиболее активной хозяйственной деятельности РФ в последнее десятилетие.

Определено, что за последние четыре десятилетия произошли серьезные изменения морфометрических и прочностных характеристик льда.

Оценки толщин льда, полученные по простым эмпирическим формулам (в зависимости от суммы «градусо-дней мороза») показывают, что в Обской губе произошло уменьшение толщины льда, в среднем, на 10-15 %.

Прочностные характеристики льда рассматривались для двух периодов – периода максимальной прочности льда (для данной акватории обычно это март месяц) и периода максимального развития (толщины) льда (обычно май месяц, до начала периода таяния). Получено, что снижение прочностных свойств льда (на изгиб и сжатие) достигает для обоих рассматриваемых периодов величины 10-12 %.

Таким образом, в ходе выполнения исследования было получено, что в последние десятилетия, под воздействием глобального потепления, в Обской губе произошло значительное ослабление ледяного покрова, как по толщине, так и по прочности. Данное обстоятельство, несомненно, способствует продолжению и расширению освоения рассматриваемой акватории российскими компаниями нефтегазового сектора.

Распространение припая в эстуариях Оби и Енисея при глобальном потеплении

Виноградов Р.А., Андреев О.М., Орлова Е.Ю.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

Рассмотрено пространственное распространение припая в северной части Обь-Енисейского региона в условиях влияния глобального потепления климата в северной полярной области Земли. На фоне интенсивного освоения Российской Арктики, указанный вопрос дополнительно приобретает важное хозяйственное значение.

На основе ледовых карт по акваториям эстуариев Оби и Енисея за последние десятилетия проанализировано положение кромки припая в период его максимального развития. Изменение границы максимального распространения припая в эстуариях Оби и Енисея хорошо согласуется с температурным фоном атмосферы в регионе, в котором отражается влияние процессов глобального потепления.

На фоне колебаний площади припая на обеих акваториях за анализируемый период в целом наблюдается смещение кромки в южном направлении. Аналогичные выводы отмечаются у других авторов в исследованиях по северной части Обской губы.

Однако при анализе распространения припая на указанных акваториях следует обязательно учитывать влияние на ледовые условия увеличения интенсивности судового трафика при освоении региона. Так регулярная зимняя морская навигация в Енисейском заливе из порта Дудинка (для нужд комбинатов Норильска) осуществляется с 2008 года. В Обской губе две основные точки зимней навигации: порт Сабетта (с 2013 года) и нефтеналивной терминал «Ворота Арктики» у мыса Каменный (с 2015). Интенсивность судоходства достигает нескольких десятков проходов судов в месяц. Обязательные при этом прокладки ледовых каналов в припае и частое их обновление не могут не отражаться на устойчивости неподвижного ледяного покрова. Однако и по антропогенному воздействию делать однозначные выводы невозможно, так как в открытых источниках недостаточно достоверных данных по судовому трафику.

Таким образом, выявлены два основных фактора (глобальное потепление и интенсификация судоходства), влияющих на распространение припая на севере Обь-Енисейского региона. Вклад каждого требует дальнейшего уточнения.

Температурный режим бурения скважин в криолитозоне

Чистяков В.К.

Санкт-Петербургский горный университет

Постоянный рост объемов буровых работ в сложных природных и геологотехнических условиях, совершенствование и разработка новых способов и технологий бурения определяет все возрастающее влияние на эффективность сооружения скважин тепловых и массообменных процессов, изучение и регулирование которых становится одной из актуальных задач исследования.

Проведенные в этом направлении работы показали, что эффективное бурение, скважин различного назначения в разрезах, представленных породами криолитозоны (многолетнемерзлыми породами ММП, поверхностными и подземными ледовыми толщами), требует более детальное изучение закономерностей тепломассопереноса в системе скважина – массив горных пород и, прежде всего, характера распределения температуры во времени в циркуляционных потоках различных промывочных сред и в окружающем скважину пространстве.

Разработанная для этих целей математическая модель нестационарного тепломассопереноса с возможными фазовыми (агрегатными) переходами в массиве пород, как с положительными, так и с отрицательными температурами, позволяет для каждого конкретного случая перейти к исследованиям более простых моделей и найти замкнутое приближенное их решение в аналитическом виде или численными методами. Это дает возможность регулировать температурный режим бурения скважины с целью сохранения или целенаправленного изменения агрегатного состояния пород.

Разработана методика определения свойств, температуры и режима циркуляции промывочной среды, учитывающая особенности бурения в криолитозоне:

- 1) температура и плотность промывочной среды, контактирующей с породами криолитозоны, обеспечивает термобарические условия их стабильного состояния;
- 2) расход промывочной среды определяется условиями эффективной очистки скважины от продуктов разрушения пород с учетом особенностей теплообмена в интервалах залегания пород криолитозоны;

В качестве примера представлены результаты расчетов температурного режима бурения скважины в разрезах, представленных ММП и под мерзлотными отложениями газовых гидратов (Мессояхское м-е, Зап. Сибирь), и глубокой скважины в Антарктическом ледниковом покрове снарядами на шлангокабеле.

Анализ полученных результатов позволяет считать, что температурный режим скважины при бурении в конкретных геологотехнологических условиях определяется, в основном, температурой мерзлых толщ, условиями теплообмена в скважине и в меньшей степени зависит от соотношения начальной и конечной температур циркуляционного потока.

Нормализация температурного режима бурения скважин в криолитозоне облегчает оптимизацию основных технологических процессов ее проходки: разрушения пород забоя, работу породоразрушающего инструмента, промывку, стабилизацию стенок скважины и их закрепление для проведения специальных исследований или эксплуатации.

Долговременные фазы многолетних изменений стока воды и тепла крупнейших арктических рек России

Георгиади А.Г., Кашутина Е.А., Милюкова И.П.

Институт географии РАН, Москва

Исследованы долговременные фазы изменений стока воды и тепла крупнейших арктических рек России в период инструментальных наблюдений (1930-е – 2000-е гг.). Оценены их характеристики и влияние на них антропогенных факторов.

Подход к анализу долговременных фаз многолетних изменений стока воды и тепла, обусловленных изменениями климата и антропогенных воздействий, основан на использовании разностно-интегральных кривых, восстановлении рядов стока воды и тепла (за вычетом антропогенных изменений), анализе долговременных фаз их повышенных/пониженных значений и оценке воздействия на них антропогенных факторов. Он позволяет исследовать многолетнюю динамику вклада природно-климатических и антропогенных факторов в наблюдаемые изменения стока.

Выявлены долговременные фазы пониженного и повышенного восстановленного стока воды крупнейших рек водосбора Северного Ледовитого океана (Оби, Енисея, Лены). Их продолжительность изменялась от 20 до 50 лет. Фаза пониженного стока началась с 1930-1940-х гг., а сменившая ее фаза повышенного стока, который продолжается до последних лет, с 1970-1980-х гг. Годовой и сезонный сток воды в течение фаз их повышенных и пониженных значений заметно отличается друг от друга. Разница (относительно фазы пониженной водности) в среднем составляла 10-20%, а максимальных значений (40%) она достигала на Енисее в зимний сезон.

Наиболее ощутимо антропогенный фактор снижает сток половодья (за счет внутригодового регулирования стока водохранилищами), в меньшей степени годовой сток (из-за безвозвратного изъятия воды на заполнение мертвого объема водохранилищ, дополнительного испарения с их акваторий, безвозвратного водопотребления) и существенно увеличивает сток зимнего сезона в связи с использованием водохранилищ для выработки электроэнергии. Период интенсивного антропогенного воздействия совпал с периодом повышенного годового и сезонного стока, обусловленного природно-климатическими факторами, что привело к их росту на каждой из рек. При этом наибольшее увеличение среднего многолетнего за эти периоды стока произошло на Енисее и Лене. Как природно-климатические, так и антропогенные факторы оказывают на зимний сток однонаправленное воздействие, приводя к его увеличению, а в случае со стоком половодья и года действуют разнонаправлено. В результате на сток половодья Енисея и Оби преобладающее влияние оказывают антропогенные факторы, и он снижается (наиболее ощутимо на Енисее). Во всех остальных случаях преобладает влияние природно-климатических факторов, которое приводит к росту стока.

В многолетних изменениях теплового стока и температуры воды Оби и Лены выявляются две долговременные контрастные фазы. Фаза их пониженных значений, начавшаяся в 1930-1940-е гг. и продолжавшаяся 35-55 лет, сменилась на Лене в 1970-1980-х гг., а на Оби в 1990-е гг. фазой их повышенных значений. На Енисее наблюдались две продолжительные фазы повышенного стока тепла (одна с 1936 г. по 1953 г., а другая с 1983 г.) и фаза пониженного стока, начавшаяся с 1954 г. Разница теплового стока в контрастные фазы составляет на Лене около 10%, а на Оби и Енисее 15%. Наибольшие изменения в сток тепла антропогенные факторы вносят на Енисее, снижая его в период их интенсивного воздействия на 12%.

Исследования проведены при поддержке РФФИ, гранты 18-05-60240, 17-05-00948.

Современные тенденции и возможные причины изменений речного притока в Северный Ледовитый Океан

Шикломанов А.И.

ФГБУ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Россия

Сток рек является интегрированной характеристикой, отражающей многочисленные природные процессы и изменения, происходящие на территории водосборных бассейнов. Речной приток играет важную роль в пресноводном балансе Северного Ледовитого океана (СЛО), оказывает существенное влияние на солевой баланс и ледообразование. Увеличение пресноводного в СЛО может привести к нарушению устойчивости формирования северо-атлантических глубинных вод и ослаблению термохалинной циркуляции Атлантического океана, которая определяет климатические условия большей части Европы. Таким образом, важно понимать современные изменения стоковых характеристик, особенно в Евразийской части Арктического водосборного бассейна, на которой формируется более 70% речного притока в СЛО.

Изменчивость годового и сезонного стока крупнейших Арктических рек анализировалась на основе многолетних наблюдений за период до 2015 г. Для анализа сезонных трендов на реках зарегулированных водохранилищами были восстановлены естественные характеристики стока с использованием модели трансформации речного стока, разработанной в ААНИИ. На всех реках наблюдается тенденция увеличения среднегодового стока, особенно заметная в последние десятилетия. Существенно изменилось и внутригодовое распределение стока в водосборном бассейне СЛО. Анализ изменений осадков и температуры воздуха осредненных для территории водосборных бассейнов крупных рек не позволяет сделать однозначного вывода о том, что увеличение осадков является основной причиной изменений речного притока в СЛО. В то же время значительный рост приземной температуры воздуха, характерный для всей рассматриваемой территории, ведет к существенному изменению криогенных характеристик, таких как, изменение сроков и толщины ледяного покрова, увеличение глубины оттаивания в зоне вечной мерзлоты и уменьшение сезонного промерзания почвы. Данные изменения могут оказывать существенное влияние на формирование речного стока. На основе экспериментальных исследований на небольших водосборах Арктических рек был проанализирован эффект изменений криогенных характеристик на количественные характеристики стока рек. Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-60240.

Structure of snow-firn layer in the Vostok Lake area and along the Progress-Vostok logistic traverse route, East Antarctica

Sukhanova A.A.¹, Popov S.V.², Eberlein L.³, Scheinert M.³, Zirizzotti A.⁴, Urbini S.⁴, Kashkevich M.P.¹, Pryakhin S.S.⁵

1 - Saint-Petersburg State University, Russia;

2 - Polar Marine Geosurvey Expedition, St. Petersburg, Russia;

3 - Institute of Planetary Geodesy, Dresden Technical University, Dresden, Germany;

4 - National Institute of Geophysics and Volcanology, Rome, Italy;

5 - Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia;

nastya21622162@gmail.com

Keywords: Vostok Lake, East Antarctica, GPR profiling, GNSS measurements, ice thickness, bedrock, accumulation, snow-firn layer.

During the austral summer field season of the 58th Russian Antarctic Expedition (2012/13) the complex of the ground-based geophysical investigations has been conducted. This research was aimed to study the structure of the snow-firn layer in the Vostok Lake area and along the Progress-Vostok logistic traverse route. All investigations were performed in the framework of the international cooperation between Russian, German and Italian specialists. The research included deep-penetrating radar soundings at the frequency of 60 MHz. They resulted in study of the structure of the glacier down to the bedrock. GPR soundings at the frequency of 200 MHz resulted in wide information about the structure of the snow-firn layer. Geophysical measurements complemented with GNSS geodetic observations, which made it possible to describe the ice surface relief with high accuracy. Similar GPR profiling at the frequency of 270 MHz with high-precision geodetic measurements were conducted along the Progress-Vostok logistic traverse again in 2017/18 field season. This data is being processed.

The research was carried out with the financial support of RFBR in the framework of a research project No 17-55-12003 NNIO “Ice flow dynamics, subglacial hydrology and long-term mass balance at Lake Vostok from the combination of geodetic GNSS observations and radio-echo sounding”.

Современные изменения ледников Российской Арктики

Глазовский А.Ф.

Институт географии РАН, Москва

glazovsky@igras.ru

В последнее время наземное оледенение архипелагов Российской Арктики (Новой Земли, Северной Земли и Земли Франца-Иосифа) заметно сокращается из-за усиления поверхностного таяния и увеличения стока льда в океан. Интенсивность динамических потерь выводных ледников, достигающих моря, зависит от скорости движения льда и отступления края, скоростей откола айсбергов и таяния на фронтальных обрывах. Такие потери оказывают существенный вклад в общее сокращение оледенения. В докладе будут рассмотрены количественные оценки изменений оледенения архипелагов Российской Арктики, которые опираются на новые данные о рельефе подлёдного ложа, толщине ледников, поверхностных скоростях их движения и изменениях их фронтальных частей для определения стока льда, которые также важны для оценки айсберговой опасности для решения практических задач освоения шельфа и судоходства.

Исследование было поддержано грантами РФФИ № 18-05-60109 и БРИКС-РФФИ № № 17-55-80107.

Гляциологические и палеогляциологические исследования ААНИИ на архипелаге Северная Земля

**Большаинов Д.Ю., Ёжиков И.С. Парамзин А.С., Фёдоров Г.Б., Ильющенко И.А.,
Соколов В.Т.
ФГБУ «ААНИИ»**

Исследования ледников и перигляциала архипелага Северная Земля возобновились в 2014 г. в связи с организацией новой научно-исследовательской станции ААНИИ «Ледовая база «Мыс Баранова» в с-з части о. Большевик. На ближайших к обсерватории ледниковых куполах Мушкетова и Семёнова-Тян-Шанского организован гляциологический полигон им. Л.С.Говорухи, который в 1974 г. основал гляциологический стационар «Купол Вавилова» на о. Октябрьской Революции, давший много данных о современном и прошлом оледенении архипелага. Традиции гляциологического стационара сохраняются в новых условиях. Прежде всего, организованы масс-балансовые наблюдения, которые уже показали слабый, но положительный баланс наблюдаемых ледников после 2011-2012 г.г., когда катастрофическое таяние снега и льда привело к отрицательному балансу денников и даже разрушению шельфового ледника Матусевича. Но существующие длительные тенденции к значительному снегу – и льдонакоплению на архипелаге или на отдельных его ледниках, отражены и в катастрофическом событии – выдвигании в море лопасти выводного ледника Вавилова. Эти тенденции были замечены в заключительной серии наблюдений на «Куполе Вавилова» в 1989-1990 г.г., а выдвигание ледниковой лопасти в 2014 г. является свидетельством положительного баланса ледника Вавилова за последние 25 лет.

В 2016 г. в ледниковой системе архипелага произошло ещё одно катастрофическое событие – переполнение и сброс вод в море по подлёдным каналам из приледникового озера Спартаковского. Это периодически случающееся событие контролируется динамикой выводного ледника, подпруживающего приледниковое озеро.

Исследование перигляциала также ведётся традиционно по направлениям изучения озёр, древних береговых линий, четвертичных отложений. По донным отложениям озера Твёрдого подтверждено ранее выдвигавшееся предположение о том, что во время последнего ледникового максимума ледниками была занята только центральная возвышенная часть о. Большевик, и ледники не выдвигались далеко на прибрежную равнину. Также подтверждён климатический оптимум голоцена, имевший место на Северной Земле в начале голоцена.

Изучение древних береговых линий отчётливо показало на подъём (не менее 10 м) и последующее понижение уровня моря на архипелаге около 2000 лет назад. Донные отложения озера Глубокого на острове Лишнем в заливе Ахматова показали, что в последние столетия уровень моря активно повышается.

В целом отмечено, что гляциологические и перигляциальные процессы на Северной Земле в настоящее время очень активны, а их наблюдения с помощью новых технологий очень перспективны в плане познания механизмов этих процессов.

Запасы льда в ледниках на Земле Норденшельда, Шпицберген, и их изменения за последние десятилетия

Лаврентьев И.И., Глазовский А.Ф., Мачерет Ю.Я., Муравьев А.Я.

Институт географии РАН, Москва, Россия

Данные о толщине и площади измеренных в 1999 и 2010-2013 гг. 16 ледников на Земле Норденшельда использованы для определения их объёма, установления статистической локальной связи между объёмом V и площадью A измеренных ледников (V - A scaling) в виде степенной функции $V = cA^r$ и оценки запасов льда во всех 202 ледниках в этом районе и их изменений за период с 1936 г. по 2002–2008 гг. Для 16 ледников измеренные ($10,03 \pm 0,03 \text{ км}^3$) и вычисленные ($10,82 \text{ км}^3$) по полученной локальной связи общие запасы льда отличаются на $\sim 8\%$ и для всех 202 ледников их вычисленный общий объём составляет $29,7 \text{ км}^3$. Применение региональных связей, полученных ранее для 60 ледников Свальбарда (Martin-Español et al., 2015) приводит к заметному завышению их суммарного объёма до $34,5 \text{ км}^3$.

За период с 1936 по 1990 гг. (54 года) общая площадь всех ледников на Земле Норденшельда уменьшилась с $738,1$ до $546,74 \text{ км}^2$ (на $191,36 \text{ км}^2$), а их суммарный объём, оценённый по локальной связи между объёмом и площадью 16 измеренных ледников сократился с $44,9$ до $31,2 \text{ км}^3$ (на $13,7 \text{ км}^3$). За период с 1990 г. по 2002–2008 гг. (~ 16 лет) общая площадь ледников уменьшилась с $546,74$ до $507,95 \text{ км}^2$ (на $38,79 \text{ км}^2$), а их суммарный объём сократился с $31,2$ до $29,8 \text{ км}^3$ (на $1,4 \text{ км}^3$). За весь период с 1936 по 2002–2008 гг. (т.е. за последние ~ 80 лет) площадь ледников уменьшилась с $738,1$ до $507,95 \text{ км}^2$ (на $230,15 \text{ км}^2$), а их объём сократился с $44,9$ до $29,8 \text{ км}^3$ (на $15,1 \text{ км}^3$). Темп сокращения объёма ледников за указанные периоды составил $0,25 \text{ км}^3/\text{год}$, $0,09 \text{ км}^3/\text{год}$ и $0,19 \text{ км}^3/\text{год}$, соответственно.

Современное состояние и изменения ледников Полярного Урала в период 2000-2017 годов

Носенко Г.А.¹, Иванов М.Н.² Сеницкий А.И.³, Никитин С.А.¹, Муравьев А.Я.¹

¹Институт географии РАН

²Московский государственный университет им. Н.В.Ломоносова

³Научный центр изучения Арктики

Обсуждаются результаты исследований последних лет на ледниках Полярного Урала и дается характеристика их современного состояния. Для количественных оценок изменений размеров ледников использованы данные, полученные во время полевых исследований, результаты обработки материалов современных космических съемок Sentinel-2 2016-2017 годов и архивные материалы. На основе результатов DGPS-съемок, выполненных в 2008 и 2017 годах, дается оценка изменений баланса массы ледника ИГАН за прошедший период.

Сравнение положения границ ледников Полярного Урала в 2017 году с данными АФС 1953 г. и космических съемок ASTER и Landsat 2000 г., свидетельствует о продолжающемся уменьшении их площади. Общая величина сокращения площади ледников за период 2000-2017 годов составила порядка 40%, а по отношению Каталогу ледников СССР их площадь уменьшилась вдвое. Ледник МГУ практически утратил долинную часть и находится на грани исчезновения. Баланс массы ледника ИГАН имеет отрицательное значение, его средняя величина в этот период составляла -0,7 м в.э./год.

Изменения размеров ледников и распределение основных климатических параметров в горных ледниковых районах на территории России (вторая половина XX-начало XXI века)

Хромова Т.Е., Попова В.В., Носенко Г.А., Муравьев А.Я., Никитин С.А.

Институт Географии РАН

На территории континентальной России в настоящее время расположены 18 горных ледниковых систем общей площадью 3,6 тыс. км². Детальные сведения о ледниках России по состоянию на середину XX века приводятся в Каталоге ледников СССР (1965–1982), его цифровой версии (WGI), и в Атласе снежно-ледовых ресурсов мира (1997). Изменения ледников на территории России в Голоцене по данным палеореконструкций были неоднократно рассмотрены в (Solomina 1999; Solomina et al. 2015; Solomina et al., 2016). Сводку результатов исследований состояния ледников в ряде континентальных горных районов в XX и XXI веке для Северной Евразии можно найти в (Khromova et al. 2014) для территории России в (Kotlyakov et al. 2015). Доступность спутниковых данных высокого разрешения, совершенствование методов исследования постоянно расширяют возможности для получения новых данных. Появляются новые региональные работы, которые уточняют и расширяют наши знания о современном состоянии и изменениях горного оледенения.

Исследования, выполненные в последние 10–15 лет, показывают, что в высокогорных районах Земли практически повсеместно происходит рост температуры приземного воздуха, что проявляется в сокращение размеров ледников. На севере Евразии современное потепление климата демонстрирует наиболее высокие темпы. С 1990-х годов на фоне некоторой приостановки роста зимней температуры наблюдается значительный рост температуры летнего сезона. Это критически усиливает воздействие на материковое оледенение. Изменения температурного режима и их темпы, являются результатом вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции, которой определяется также и региональная неоднородность изменений температуры, осадков и составляющих радиационного баланса, без учета которой невозможен анализ состояния ледников в условиях современных изменений климата.

В докладе представлен обзор имеющихся к настоящему времени результатов исследований изменений ледников горных районов континентальной России в XX и XXI веке, полученных преимущественно с использованием спутниковых данных и анализ фоновых изменений климатических показателей в районах горного оледенения, в первую очередь, зимних осадков и летней температуры, их пространственно-временных особенностей распределения по территории России, что позволяет сопоставить масштабы климатических «сдвигов» с сокращением площади ледников в условиях разных климатических и природных зон.

Благодарности. При подготовке публикации использованы результаты, полученные в рамках исследований по теме № 0148-2014-0007 Плана научно-исследовательских работ Института географии РАН и по гранту РГО № 05/2017/РГО-РФФИ.

Цифровые стереофотосъемки для исследования эволюции оледенения Эльбруса

Нечелюстов С.Г.¹, Харьковец Е.Г.¹, Селиверстов Ю.Г.¹, Сучилин А.А.¹, Турчанинова А.С.¹, Сократов С.А.¹, Комаров А.Ю.¹, Кудиков А.В.², О. Mustafa O.³, Evangelista H.⁴

1 - Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия,

2 – Институт географии РАН, Россия,

3 - Thuringian Institute of Sustainability and Climate Protection, Germany,

4 - Rio de Janeiro State University, Brazil

В 2017 г. осуществлен очередной этап дистанционного мониторинга крупнейшего в Европе горного оледенения Эльбруса. Повторная стереофотограмметрическая съемка ледников южного склона с фототеодолитного базиса периода проведения МГТ впервые выполнена с использованием панорамной съемочной установки, созданной нами на основе широкоформатной цифровой фотокамеры с высоким разрешением. На языках ледников Большой и Малый Азау осуществлена аэрофотосъемка с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 3 Advanced. По результатам съемок составлены цифровые модели рельефа (ЦМР) поверхностей ледников и прилегающих территорий. С использованием высокоточного ГНСС-приёмника определены координаты точек базиса и наземных опорных точек, что позволило привести к единым системам координат и высот все ЦМР, составленные по картографическим и цифровым съемочным материалам на район исследования. Сопоставление разновременных ЦМР позволило получить количественные данные по изменению размеров оледенения Эльбруса и выполнить оценку точности измерений разными способами. Определены величины отступления фронтов ледников южного склона.

Климатические факторы деградации оледенения Большого Кавказа в XX-XXI вв.

Торопов П.А.^{1,2}, Семенов В.А.^{2,3}, Алешина М.А.^{2,4}, Шестакова А.А.³

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии*

² *Институт географии РАН, лаборатория климатологии*

³ *Институт Физики атмосферы РАН им. А.М. Обухова, лаборатория теории климата*

⁴ *Институт глобального климата и экологии РАН, отдел мониторинга и вероятностного прогноза климата*

Анализ спутниковых данных показывает, что в последние 30 лет в горах Большого Кавказа наблюдается катастрофическое сокращение площади оледенения, которое достигает, в среднем, $-0.7\%/год$. Эта информация дополняется результатами натуральных данных по репрезентативным ледникам Центрального Кавказа (Джанкуат и Гарабаши), согласно которым потеря массы составляет, в среднем, около 1 м.в.э/год. Из результатов анализа данных о компонентах баланса массы следует, что сокращение объемов и площадей ледников определяется прежде всего аномалиями абляции, то есть неразрывно связано с метеорологическим режимом теплого полугодия. Показано, что основной вклад в таяние ледников Кавказа вносят радиационный баланс (60-80%) и турбулентный теплообмен поверхности ледника с атмосферой (15-30 %).

На основе данных реанализа ERA-Interim и наблюдений выявлены основные тенденции изменений температурно-влажностного режима Большого Кавказа за период 1982 – 2014 гг. Показано, что в целом по региону отмечается статистически значимое потепление в летний сезон, тесно связанное с ростом температуры поверхности Черного и Каспийского морей и радиационного баланса. В режиме осадков статистически значимых изменений не выявлено, несмотря на рост интегрального влагосодержания атмосферы и потенциальной конвективной энергии (CAPE). Рост интегрального влагосодержания компенсируется увеличением дивергенции влаги вследствие интенсификации крупномасштабных нисходящих движений, в результате чего сезонные и годовые суммы осадков существенно не меняются. Подобные эффекты, возможно, являются следствием глобального процесса «расширения тропиков», который наиболее ярко проявляется в смещении нисходящей ветви ячейки Хэдли к северу. Этот процесс может приводить к увеличению повторяемости антициклонов над южными районами Европы в теплом полугодии, что влечет за собой отрицательный тренд облачности и тесно связанный с ним рост радиационного баланса и приземной температуры воздуха в летние месяцы. Этими тенденциями объясняется резкое увеличение таяния ледников в сезон абляции, которое на фоне практически неизменной аккумуляции приводит к сокращению площадей и объемов большинства ледников Кавказа.

Вопросы мониторинга ледников на Северном Кавказе и Алтае

Коновалов В.Г., Рудаков В.А.

Институт географии РАН, Старомонетный 29, Москва, 119017, Россия

Необходимым и очевидным условием разработки и совершенствования методов моделирования, расчета и прогноза объема стока с площади оледенения в бассейнах рек снегово-ледникового типа питания служит использование морфометрических параметров всех ледников, расположенных выше замыкающего гидрологического створа. Диапазон однократных определений морфометрических параметров ледников охватывает: в Каталоге ледников СССР [1–2] 1943-1968 годы, в Каталоге RGI v.5 [3] 1965-2004 гг. на Северном Кавказе и 2006-2013 гг. в бассейне р. Катунь (Алтай), а информация в Каталоге GAMDAM [5] для ледников р. Катунь относится к 2000-2002 гг.

В работе [6] обосновано использование высотно-площадных параметров ледников за 1946-1975 гг. (данные [1–2]) и 1976-2005 гг. (данные [3]) для расчета стока с площади оледенения на Северном Кавказе и Алтае в течение 1946-2005 гг. Поскольку внутри каждого из этих интервалов обобщенные сведения о морфометрии ледников приняты устойчивыми, первая задача исследования заключается в оценке изменения площади, числа и параметров распределения гипсометрических характеристик ледников (асимметрия, эксцесс, среднее, среднеквадратичное отклонение, минимум, максимум, медиана) между их совокупностями в 1946-1975 и 1976-2005 гг. Распределение площади ледников Fgl в бассейнах рек Северного Кавказа и р. Катунь по данным [3] использовано также для оценки пространственной репрезентативности Fgl ледников Джанкуат и Малый Актру.

Вторая практически важная задача работы направлена на выявление возможностей использования локальных значений абляции/летнего баланса массы в масштабе речных бассейнов как дополнительного аргумента при моделировании и расчетах речного стока за июнь-сентябрь. Метод решения этой задачи – регрессионный анализ и определение детерминированных вкладов независимых переменных в описание дисперсии функции.

Значительное сокращение площади оледенения в 1946-2005 гг., выявленное по данным [1-2] и результатам дистанционного мониторинга [3-5], вполне согласуется с однообразной тенденцией роста средних взвешенных высот Z_{max} , Z_{min} , Z_{mean} ледников в бассейнах рек Северного Кавказа и р. Катунь. В большинстве случаев эксцесс распределений Z_{max} , Z_{min} , Z_{mean} близок к нулю, что более или менее согласуется с нормальной кривой распределения. Эксцесс, среднее и медиана распределений Fgl в [1-2], и [3-5] указывают на подавляющее преобладание числа ледников с площадью $<0,5 \text{ км}^2$. Этот результат не подтверждает заданную априорно репрезентативность ледников Джанкуат ($Fgl=2,5 \text{ км}^2$) и Малого Актру ($Fgl=2,9 \text{ км}^2$) относительно рассмотренных совокупностей ледников на Северном Кавказе и Алтае. Измерения годовой абляции/летнего баланса массы на ледниках Малый Актру и Джанкуат можно считать регионально репрезентативными только для части водосборов в бассейнах рек Северного Кавказа и р. Катунь (Алтай).

Литература

1. Каталог ледников СССР: Т. 8. Ч. 3, 5–7, 11. Л: Гидрометеиздат, 1967–1977.
2. Каталог ледников СССР: Т. 15. Вып. 1. Ч. 4–7. Л: Гидрометеиздат, 1978.
3. Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 5.0. July 2015. <http://glims.org/RGI/index.html>
4. RGI Consortium. 2017. A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0. doi: <https://doi.org/10.7265/N5-RGI-60>.
5. Nuimura T., Sakai A., Taniguchi K., Nagai H., Lamsal D., Tsutaki S., Kozawa A., Hoshina Y., Takenaka S., Omiya S., Tsunematsu K., Tshering P., Fujita K. The GAMDAM glacier inventory: a

quality-controlled inventory of Asian glaciers // *The Cryosphere*. 2015. № 9. P. 849–864. doi: 10.5194/tc-9-849-2015.

6. Коновалов В.Г., Рудаков В.А. Гидрологический режим ледников в бассейнах рек Северного Кавказа и Алтая // *Лед и Снег*. 2018. № 1. P. 21–40. doi: 10.15356/2076-6734-2018-1-21-40.

Изменение объема ледников Центрального Кавказа за последние 60 лет **Найденко А.А.**

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет

naydenkosasha@gmail.com

С научной и практической точек зрения важно знать количество и изменения во времени запасов воды в горных ледниках, поскольку сокращение их площади и объёма вызывает в настоящее время дополнительное повышение уровня Мирового океана на $0,41 \pm 0,08$ мм/год [1,2]. Кроме того, горные ледники служат важным ресурсом пресной воды, используемой для орошения, хозяйственных и производственных нужд, а также выработки электроэнергии.

Горные ледники относятся к числу основных индикаторов изменений климата. Традиционно реакция ледников на изменения климата оценивалась по колебанию их фронтов. Но фронт ледника реагирует на изменения климата с опозданием, зависящим от размеров ледника и скорости его массообмена [3]. Изменение объема ледника за год или более продолжительный период является показателем, непосредственно зависящим от климата. На отдельных ледниках изменение объема можно определить путем прямых гляциологических измерений баланса массы. Проведение масс-балансовых наблюдений на больших по площади ледниках сопряжено с множеством проблем, главными из которых являются большие ошибки, возникающие из-за неравномерности охвата ледника сетью измерений. В последние годы все более популярным направлением в гляциологии становится определение изменений объема ледников геодезическим путем. Прямые масс-балансовые наблюдения проводятся только на двух сравнительно небольших ледниках – Джанкуате и Гарабаши [4]. Непонятно, как эти данные можно экстраполировать на более крупные ледники, в которых сконцентрированы основные ледовые ресурсы Кавказа.

Именно поэтому данная работа посвящена изучению изменения объема ледников бассейна р. Черек, в том числе, крупнейшего ледника Кавказа – Безенги и ледниковой системы Эльбруса.

Литературные источники:

1. Jacob T., Wahr J., Pfeffer W.T., Swenson S. Recent contributions of glaciers and ice caps to sea level rise // Nature. 2012. V. 482. P. 514.
2. Meier M.F., Dyurgerov M.B., Rick U.K., O'Neel S., Pfeffer W.T., Anderson R.S., Anderson S.P., Glazovsky A.F. Glaciers dominate eustatic sea level rise in the 21st century // Science. 2007. V. 317. № 5841. P. 1064–1067.
3. Кутузов С.С. Изменение ледников внутреннего Тянь-Шаня за последние 150 лет. Москва – 2009.
4. www.wgms.ch.

Результаты полевых исследований ледников Чукотского нагорья

Ананичева М.Д.

Институт географии РАН, Москва

ananicheva@igras.ru

Целью работы является исследование состояния ледников Чукотском нагорья - в заливе Лаврентия (Восточная Чукотка) и в хребте Искатень Южная Чукотка, Россия, которые были описаны ещё в середине 1970-х гг. Р. В. Седовым, и в дальнейшем изучались лишь с помощью космических снимков.

Ледники Чукотского нагорья, по данным Р.В. Седова, представлены несколькими изолированными группами (5 групп). Первая группа из трех ледников расположена на северо-востоке Чукотского полуострова на хр. Тенианый в заливе Лаврентия, средняя высота границы питания (H_{ELA}) – 500 м. Вторая группа – в заливе Креста Берингова моря на хр. Искатень – состояла из 21 ледника с H_{ELA} от 500 до 1000 м. Эти две группы ледников изучались с помощью снимков и в полевых условиях.

Поскольку ледники имеют малый размер и расположены в высокоширотном районе, то космические снимки могут давать ошибки. Поэтому были проведены полевые маршрутные исследования, GPS-съёмка и фотосъёмка для дальнейшего построения 3D моделей поверхности ледниковых каров ледников группы Лаврентия летом 2017 г. В результате полевых обследований были обнаружены покрытые валунами остатки ледников, находящиеся в стадии полной деградации. Поскольку пробурить эти остатки не представлялось возможным, нельзя точно сказать, насколько велико в них ледяное ядро. По-видимому, эти криосферные объекты находятся в стадии образования небольших каменных глетчеров.

По сведениям Р.В. Седова в хребте Искатень на данный момент сохранились живые ледники, в августе 2018 г. планируется полевые наблюдения на нескольких ледниках бассейна р. Дорожной, включая ледник Первенец, который Р.Ф. Седов достаточно детально изучал в 1980-е гг.

Важный вывод из полевых работ – это подтверждение того, что использование снимков, Landsat для оценки размеров такого рода ледников, особенно в высокоширотных регионах, дает грубые ошибки. Изучение дистанционными методами малого оледенения можно лишь снимками очень высокого разрешения, типа SPOT, World View-2, 3, и т.п.

Наблюдаемые тенденции в динамике состояния криосферных объектов Чукотского нагорья являются реакцией на региональные климатические изменения и требуют дальнейшего изучения для выявления обратных природных связей и динамики природной среды в данном крайне слабо исследованном регионе.

Оценка качества поверхностных вод Приэльбрусья по содержанию тяжелых металлов

Керимов А.М.¹, Ротогаева О.В.²

¹Высокогорный геофизический институт Росгидромета, г. Нальчик

²Институт географии РАН, г. Москва

В работе представлены результаты сравнения содержания тяжелых металлов в снежно- фирновой толще эталонного ледника Гарабаши(южный склон Эльбруса) на абсолютной высоте 4000 м и речных водах ледникового питания у истоков реки Баксан. Рассматривается содержание тяжелых металлов в реках Гарабаши, Азау и Терскол ,формирующих исток реки Баксан за период с1999 г. по 2010 г. За указанный период имеются данные по концентрации следующих тяжелых металлов(ТМ) :Cr , Ni , Mo , Mn , Pb. Эпизодически определялись -Ag, Zn , V.Концентрации приведенных элементов меняются в пределах одного порядка и более , как в снежной толще так и в речных водах. Исследование содержания тяжелых металлов в снежно- фирново-ледяной толще и речных водах проводилось к моменту максимального снегонакопления на границе питания ледника(около 4000 м).На указанной высоте максимальное снегонакопление соответствует как правило середине июня.

Для сравнения содержания ТМ в истоках реки Баксан с их содержанием в леднике Гарабаши выбрана стационарная точка на уровне 4000 м ,где проводятся наблюдения за балансом массы ледника . При проведении масс-балансовых работ к моменту максимального снегонакопления (как правило, вторая половина июня) производился отбор проб снега для определения концентрации ТМ в снежной толще. Пробы отбирались в шурфе из слоев с одинаковыми структурно-стратиграфическими характеристиками. Количество проб зависело от снегонакопления и менялось от 7-8 до 18-20 в соответствии с мощностью снежной толщи. Работы на леднике проводились до начала водоотдачи снега при таянии на этом уровне. Таким образом, химический состав снежной толщи был близок к химическому составу атмосферных осадков, из которых сформировалась снежная толща.

При отборе проб на леднике производился и отбор проб речных вод у истоков реки Баксан : из рек Гарабаши , Азау и Терскол ,являющихся истоком реки Баксан . Таким образом, временной интервал отбора проб совпадает.

Выводы:1.Содержание и изменение всех рассматриваемых ТМ носят индивидуальный характер. Хром, свинец и никель содержатся в количествах менее ПДК(ПДК-здесь и ниже-для водоемов рыбохозяйственного назначения) и их абсолютные значения отличаются незначительно. Концентрация молибдена в снежной толще за рассматриваемый период ниже ПДК. Значительное содержание молибдена в речных водах вероятно объясняется тем, что на склонах ниже ледника и на его языке в июне идет интенсивное таяние и в формировании микроэлементного состава, в частности молибдена, в речных водах принимает участие подстилающие грунты.

2.Наибольшие концентрации соответствуют марганцу и цинку. Высокое содержание цинка , как вулканогенного элемента в снежной толще ,вероятно связано с фумарольной деятельностью, аномалии марганца объясняются высоким содержанием его, как породообразующего минерала в подстилающих породах Эльбрусского вулканического центра (ЭВЦ).

Применение пенетрометра SMP для исследования стратиграфии и свойств снежного покрова

Комаров А.Ю.¹, Селиверстов Ю.Г.¹, Турчанинова А.С.¹, Гребенников П.Б.¹, Сократов С.А.¹

МГУ им. Ломоносова, Географический факультет

На территории метеорологической обсерватории ГЗ МГУ 4 года (с 2014 по 2018 гг) выполнялись регулярные исследования стратиграфии и свойств снежного покрова. Исследования включали в себя регулярные замеры автоматическим датчиком толщины снежного покрова с дискретностью 1 раз в 15 минут, периодические наблюдения за строением снежной толщи в шурфе. Определялись толщина, плотность, твердость, тип и размер кристаллов снежной толщи и отдельных ее слоев. Измерения твердости снега выполнялись с использованием пенетрометра высокого (4 Мкм) разрешения SnowMicroPen. Измерения твердости выполнялись через 50 см по линии протяженностью 10-20 м.

Исследуется пространственно-временная изменчивость строения и свойств снежного покрова по вертикальному (между слоями) и горизонтальному профилям (в пределах одного слоя). Выполняется сопоставление средних значений твердости и коэффициентов вариации отдельных слоев снежной толщи значениям плотности, форме и размеру зерен в них. Определено, что использование прибора позволяет уточнить границы слоев и выявить неоднородности, не идентифицируемые традиционными методами.

Морфологические особенности пульсирующих ледников
Котляков В.М., Чернова Л.П., Хромова Т.Е., Муравьев А.Я., Качалин А.Б., Тюфлин А.С.
Институт географии РАН
tkhromova@gmail.com

Пульсирующие ледники – грозное явление природы, изучение которого остро необходимо, поскольку разрушительное влияние ледниковых пульсаций сказывается не только на предгорьях этих ледников, но зачастую сопровождается сокрушительными наводнениями на многих десятках километров вниз по долинам вытекающих из них рек.

В 1998 году в издании «Материалы гляциологических исследований» № 85 был опубликован Каталог пульсирующих ледников Памира (авторы: Г.Б. Осипова, Д.Г. Цветков, А.С. Щетинников, М.С. Рудак). В 2010 г. были начаты работы по созданию его электронной версии. В настоящее время в отделе гляциологии ИГРАН на его основе создается электронная база данных «Пульсирующие ледники Памира». В докладе представлены первые результаты ее анализа. Совмещение основной таблицы этой базы данных с основной таблицей мирового каталога ледников позволило выяснить, как морфометрия пульсирующих ледников отличается от морфометрических особенностей обычных ледников, расположенных в тех же речных бассейнах.

Для примера взят бассейн Обихингоу. Его 549 ледников разделены на три группы: ледники с зафиксированными в последние 70 лет крупными (типа «сердечей») подвижками, ледники с признаками таких подвижек в прошлом и ледники без признаков подвижек. Для каждой из групп вычислены средняя вертикальная протяженность, уклон, высота минимальной и максимальной точек ледника. Для пульсирующих ледников оказалось характерным сочетание максимальных из трех групп вертикальной протяженности и высоты высшей точки с минимальными для трех групп уклоном и высотой низшей точки.

На карте Атласа снежно-ледовых ресурсов мира, демонстрирующей распределение средних летних температур воздуха на фиксированной высоте (№ 160 на стр. 134), можно видеть, что эта температура в бассейне Обихингоу практически неизменна. Этот факт позволяет предположить, что большие размеры пульсирующих ледников этого бассейна связаны с избыточной по сравнению с соседствующими ледниками аккумуляцией. Кроме того, малые уклоны ложа, усложненного его волновой природой, формирующейся в результате специфических особенностей ледниковой эрозии, способствуют регулярным затруднениям стока льда и созданию пульсационного режима.

Работа выполнена при поддержке темы № 0148-2014-0007 плана научно-исследовательских работ Института географии РАН.

Снежно-ледяные накопления в пещерной системе Снежная, Западный Кавказ

Мавлюдов Б.Р.¹, Экба Я.А.²

¹ - *Институт географии РАН,*

² – *Институт экологии АНА*

bulatrm@bk.ru

Пещерная система Снежная расположена на южном склоне хребта Раздельный (отрог Бзыбского хребта), Западный Кавказ, Абхазия. Глубина около 1760 м, протяженность более 31 км. Снег накапливается только у входа на 1900 м нум, который начинается широким вертикальным колодецем глубиной 40 м. В середине зимы, когда снега во входном колодце накапливается большое количество, и крутизна его склона превысит 45 градусов, происходит формирование сухой снежной лавины. В это время температура воздуха и стен полости отрицательные. Лавинный снег движется по извилистым крутонаклонным щелям, заполняя все неровности на своем пути, и достигает свода Большого зала (длина до 140 м, ширина до 100 м, высота до 60 м), расположенного на глубине около 200 м от входа, куда и низвергается. Этот лавинный снег сформировал в зале огромный снежно-фирново-ледяной конус, занимающий большую часть площади зала. В зависимости от поступления в зал лавинного снега и его количества высота конуса может изменяться от 30 до 60 м. В последнем случае конус затыкает вход в зал снизу, и поступление лавинного снега в зал прекращается. Изоляция зала приводит к установлению постоянно в нем положительной температуры воздуха. Таяние снега и льда ведет к понижению высоты конуса. Повышение и понижение высоты конуса носит периодический характер с продолжительностью около 45 лет. Цикличность накопления снега в полости связана как с периодичностью снежности зим вне пещеры, так и с конечным размером полости. Для накопления снега в полости благоприятны холодные зимы и большое количество выпадающего снега. Холодная зима способствует увеличению доли наметаемого снега во входной колодец, что благоприятно для схода лавин внутри полости. В теплые зимы пещера недостаточно охлаждается морозным воздухом, а доля снега, наметаемого во входной колодец, уменьшается. Это не благоприятно для формирования снежных лавин и накопления снега в Большом зале пещеры. Однако даже серьезные колебания климата вне пещеры не способны вызвать резкие изменения размеров снежно-ледяного тела в пещере, что связано с большой инерционностью снежно-ледяных образований, которые располагаются в зоне отрицательной температурной аномалии пещеры. Это означает, что серьезных изменений в климатических и гидрологических параметрах в этой части пещерной системы в ближайшие годы ожидать не придется.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 17-55-40003.

**Районирование экстремальных георисков в районах современного
вулкано-гляциального взаимодействия
(на примере полуострова Камчатка)
Маневич Т.М., Марченко Е.С., Муравьев Я.Д.
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН**

В пределах любого региона имеют распространение те или иные опасные природные процессы, которые способны осложнить строительство и эксплуатацию инженерных сооружений, различные виды природопользования, да и просто человеческую жизнедеятельность. В большинстве случаев эти природные процессы достаточно хорошо изучены и их распространение с той или иной степенью детальности представлены на тематических картах. Однако избыток информации часто затрудняет выявление самых опасных участков, в пределах которых вероятность их разрушительного воздействия наиболее высока. Особенно это злободневно для регионов где взаимодействие разных видов экстремальных природных явлений процессов может породить катастрофические события комплексной природы.

Проблема поверхностных катастрофических природных процессов, таких как обвалы, оползни, подвижки и обрушения ледников, лавинные потоки, а также таких редких крупномасштабных вулканических явлений как направленные взрывы, в районах активного вулканизма является важной с точки зрения прогноза и предупреждения возможных отрицательных последствий таких событий для находящегося в окрестностях вулкана населения и инфраструктуры. Процесс формирования подобных событий, включает трансформацию типа движения от ледяных лавин или ледниковых подвижек в обломочную лавину и, наконец, в вулканогенный сель (лахар) из-за насыщения в ходе движения обломочной массы талой водой.

Оценка опасности для этих типов гравитационных потоков чрезвычайно трудна из-за их характерных особенностей (в первую очередь из-за повышенных температур и газонасыщенности перемещаемых масс пород), что приводит к экстраординарным скоростям и дальности выноса отложений на прилегающие низменности; прогрессирующего насыщения потока водой вдоль пути следования; крутой перепад высот в начальный период движения; сопровождению воздушной ударной волны в лавинной фазе потока; вовлечение дополнительного материала по пути схода (который может включать снег и рыхлый обломочный материал); и повторяемость подобного события. Такие события могут затронуть области, отдаленные от вулканов и ледников, которые ранее считались безопасными. Для тщательной оценки этих редких катастрофических явлений, особенно ее главной стадии, необходимо развивать новые технологии оценки георисков в районах современного вулканизма.

В течение исторического периода наблюдений за деятельностью камчатских вулканов наблюдались разного типа катастрофические процессы на их склонах, приводящие к изменению приповерхностной структуры вулкана и сопровождающиеся разрушениями верхних частей их построек. Масштаб этих разрушений незначительный для всего объема тела вулкана, и их локализация на отдельных участках склонов зависит от многих факторов: от типа извержения (эксплозивное - эффузивное, терминальное - латеральное и т.п.), оказывающего непосредственное воздействие на поверхность вулканической постройки; давления магмы на внутренние стенки каналов в постройке, изменения наклона и деформации поверхности разных частей вулкана; внедрения даек и силлов по тектонически ослабленным зонам вулкана; характера взрывной деятельности; развитости современного оледенения на вулкане и характера движения ледниковых масс, и, наконец, сейсмической активности под вулканом (землетрясения и вулканическое дрожание в постройке, возникающие на различных стадиях извержения), и глубинные землетрясения, не связанные

с извержениями непосредственно. Каждый из этих факторов вносит свой вклад в устойчивость постройки и может служить как для подготовки среды для обрушений, так и в качестве триггера для начала катастрофического события.

Современное состояние оледенения Камчатки

Муравьев А.Я.

Институт географии РАН, Москва

anton-yar@rambler.ru

По состоянию на 2002–2015 гг. оледенение Камчатки было представлено 643 ледниками общей площадью $769,47 \pm 30,27$ км². Оледенение распределено по территории полуострова неравномерно вследствие разнообразия форм макрорельефа, климатических различий, наличия или отсутствия современного вулканизма. Районы и узлы оледенения Камчатки можно разбить на три группы, существенно различающиеся степень разрушения вулканических построек и горных хребтов, и, как следствие, наборами морфологических типов ледников: 1 – районы активного вулканизма, 2 – районы четвертичного вулканизма, 3 – невулканические районы.

В районах активного вулканизма Камчатки расположено 92 ледника общей площадью $264,08 \pm 9,39$ км², в районах четвертичного вулканизма – 366 ледников общей площадью $375,09 \pm 14,4$ км², в невулканических районах – 185 ледников общей площадью $130,31 \pm 6,48$ км². Прослеживается закономерность изменения средней площади ледников в зависимости от типа района оледенения. Так самые крупные ледники Камчатки (средний размер ледника $2,87$ км²) находятся в районах активного вулканизма. Ледники Эрмана ($42,33 \pm 1,16$ км²) и Богдановича ($42,26 \pm 0,85$ км²), расположенные в районе Ключевского вулкана, являются крупнейшими ледниками материковой части России. Средний размер ледников районов четвертичного вулканизма составляет $1,02$ км². Наименьший средний размер ледников на Камчатке наблюдается в невулканических районах – $0,7$ км².

В распределении морфологических типов ледников по районам оледенения Камчатки различных типов также прослеживается закономерность. Так каровые и карово-долинные ледники практически отсутствуют в районах активного вулканизма, поскольку формирование современного макрорельефа в них ещё не завершилось. В районах четвертичного вулканизма доля каровых ледников составляет 26,2 %, а карово-долинных 15,3 %. Наибольшая доля каровых ледников наблюдается в невулканических районах Камчатки, где она составляет 56,8 % (доля карово-долинных 14,1 %).

Наиболее низкое расположение фронтов ледников наблюдается на Кроноцком полуострове. В частности фронт ледника Корято в 2013 г. располагался на высоте около 300 м.

Оледенение Камчатки крайне неравномерно распределено в зависимости от экспозиции ледников. Так наибольшую долю от площади оледенения полуострова составляют ледники юго-западной (24,2 %), западной (24 %) и восточной (18,6 %) экспозиций, наименьшую – ледники северной (0,8 %), южной (4,2 %) и юго-восточной (8,3 %) экспозиций. Это является следствием того, что основными источниками атмосферных осадков на Камчатке являются Охотское море на западе и Тихий океан на востоке, а крупнейшие горные хребты имеют субмеридиональную ориентацию.

Работа выполнена при поддержке темы № 0148-2014-0007 плана научно-исследовательских работ Института географии РАН.

Изменение ледника Томич (Центральный Алтай) за период инструментальных наблюдений

Останин О.В.¹, Дьякова Г.С.¹, Ковалев М.В.¹, Бурым Р.Д.¹, Отгонбаяр Дэмбэрэл²

¹*Алтайский государственный университет (г. Барнаул, Россия)*

²*Ховдский государственный университет (г. Ховд, Монголия)*

Инструментальные наблюдения за ледниками Центрального Алтая ведутся с 1897 года. За этот период площади малых ледников сократились на 20-40%, а крупных на 8 – 20%. Ледник Томич расположен в Центральном Алтае, Западном ледниковом узле Катунского хребта, в верховье долины р. Мульта, в истоках р. Томички. Он относится к «теплым» ледникам, имеет небольшую площадь – чуть более 1 км², и залегает в двухкамерном цирке в диапазоне высот 2260 – 2850 м. Большая часть ледника приурочена к правому кару. Первая топографическая съемка ледника Томич была проведена в 1973 г. Р.М. Мухаметовым. Повторные съемки ледника проводились в 1983, 1995, в 2009-2010 гг., в 2016 г. (частичная – правый кар). В 2017 г. нами была проведена съемка поверхности ледника, с использованием GNSS-приемника (ГЛОНАСС/GPS) Leica GS08plus (база и ровер). Съемкой было охвачено порядка 80% площади ледника. Сравнение данных о высоте поверхности ледника показало, что за последние 45 лет (с 1973 г.), поверхность ледника понизилась в среднем на 30 м. В целом, скорость изменения положения поверхности ледника в период инструментальных наблюдений изменялась весьма незначительно, составляя не более метра в год. Площадь ледника Томич в 1973 г. по результатам топографической съемки составила 1,55 км², в 2010 г. – 1,25 км²; современная площадь по данным полевых измерений и дешифрирования космической съемки в 2017 г. составила 1,1 км². Таким образом, площадь ледника за период инструментальных наблюдений сократилась на 29%.

В 2017 году с целью выявления мощности ледника Томич были проведены геофизические исследования методом георадиолокации. Первые подобные исследования проводились на данном леднике в 2000 г. под руководством С.А. Никитина. Зафиксированная тогда максимальная мощность ледника составила 55 м, средняя – 31,2 м. Нами был использован георадар РYTHON-3 с антенным блоком 50 МГц. Эта частота позволяет достигать глубинности 40 м. Профили георадиолокационного зондирования были заложены в зоне аккумуляции ледника, с таким расчетом, чтобы пройти вблизи максимальных отметок толщины ледника, указанных в работе С.А. Никитина. Пройденное расстояние фиксировалось с помощью GPS. Анализ полученных данных показал, что максимальная толщина ледника по линии профиля составляет 25-27 метров (в центральных частях каров ледника); средняя толщина изменяется в пределах 16-17 м. Минимальная мощность ледника по линии профиля составила 5 метров (в месте перехода одного кара в другой).

Система сигнализации о лавинах, селях, оползнях и паводках
Пильгаев С.В.¹, Черноус П.А.², Федоренко Ю.В.¹, Филатов М.В.¹, Ларченко А.В.¹
¹Полярный геофизический институт, г. Апатиты, ²г. Санкт-Петербург

Предлагается простая недорогая система оповещения о произошедших опасных склоновых явлениях. Система регистрирует явление с помощью электронных датчиков положения и передает информацию о событии по мобильной телефонной сети на компьютер ответственного за контроль этих явлений дежурного и в виде СМС на заранее определенные телефоны. Регистрирующее и передающее устройство вместе с блоком питания (3 батареи типа АА) имеет небольшие габариты (0,15x0,05x0,05 м³) и вес (0,1 кг), помещается в ударопрочный герметичный корпус и может закрепляться различными способами, в зависимости от типа задачи и условий в которых ее необходимо решать. Работоспособность регистрирующих устройств контролируется удаленно с заданной потребителем частотой. Количество регистрирующих устройств в системе практически не ограничено. Для компьютера, на который передаются сообщения разработана программа, позволяющая визуализировать приходящую с различных устройств информацию, в том числе, показывать на карте места зарегистрированных явлений. В течение зимних периодов 2016-17 и 2017-18 гг. система прошла опытно-промышленные испытания в АО «Апатит» в Хибинах, где использовалась для сигнализации о сошедших лавинах и водоснежных потоках, показав высокую работоспособность и надежность. Приводятся результаты испытаний. По желанию потребителя, в случае отсутствия в месте установки мобильной телефонной связи, передающее устройство может быть выполнено в виде радио модуля. Использование системы сигнализации позволяет, в условиях редких наблюдений и отсутствия видимости, достаточно точно определять время произошедших явлений и, следовательно, совершенствовать методы их прогнозирования, а также своевременно принимать меры по недопущению связанных с ними чрезвычайных ситуаций, оперативно организовывать поисково-спасательные и восстановительные работы. Система может быть сопряжена с различными исполнительными устройствами (светофоры, шлагбаумы, сирены и т.д.). Рассматриваются варианты использования системы для регистрации гидрологических характеристик, селей, оползней и др.

О высотной поясности и динамике изменения температуры горных пород в хребте Сунтар Хаята

Сысолятин Р.Г., Сериков С.И., Железняк М.Н.

Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия

robertseesaw@gmail.ru

Мерзлота в горах имеет специфические особенности формирования и развития, обусловленные пестротой природных условий. Хребет Сунтар-Хаята расположен в юго-восточной Якутии. Эта область единственная в центрально-континентальной части Северо-Востока Азии с наличием значительного современного наземного оледенения. Район характеризуется резко континентальным климатом. Среднегодовая температура воздуха по метеостанции Восточная составляет $-11,0^{\circ}\text{C}$. За последние 70 лет тренд её повышения составил $0,33^{\circ}\text{C}/10$ лет. Зимы холодные и малоснежные, начинаются в конце октября, последний снег в долинах сходит в начале мая, в горах в середине июня. Лето короткое, умеренное. Годовая сумма осадков 500-700 мм. Рельеф среднегорный, альпийского типа.

Основными факторами, определяющими формирование температурного режима горных пород в слое годовых теплооборотов хребта Сунтар Хаята, являются: рельеф местности, под воздействием которого формируются микроклимат, условия теплообмена на поверхности, теплофизические свойства пород. Именно эти факторы определяют особенности теплового режима грунтов в слое годовых теплооборотов и геокриологические условия региона.

В 2010 году сотрудниками лаборатории геотермии в среднем течении р. Восточная Хандыга (приток р. Алдан), в 200 км северо-восточнее п. Хандыга были начаты исследования за температурным режимом пород в различных ландшафтных условиях. В период с 2010 по 2017 год было оборудовано 18 режимных площадок. Площадь охвата территории исследований составила 20 кв. км. На всех точках, с помощью автоматизированных систем ведутся наблюдения за температурой пород на глубине 1 метр, в 5 скважинах - до глубины 5 - 60 метров. Высотные отметки наблюдательных площадок располагаются в интервале высот 600-1750 метров над уровнем моря.

Анализ полученных данных, позволил дать оценку особенностей формирования температурного режима горных пород, оценить реакцию температуры пород в различных ландшафтных условиях на изменение климата. За семилетний период наблюдений установлено:

- в пределах высот от 800м до 1200м (таежная зона) среднегодовая температура пород на глубине 1 метр изменяется в диапазоне от $-3,9^{\circ}\text{C}$ до $-7,2^{\circ}\text{C}$, образуя пояс интенсивного распределения;

- на высотах от 1200 до 1600 м (подгольцовая зона) этот диапазон изменяется от $-6,2^{\circ}\text{C}$ до $-7,4^{\circ}\text{C}$ и формирует пояс умеренного распределения температуры;

- в межгодовом цикле среднегодовая температура грунтов на глубинах от 1 до 3 м имеет тенденцию к понижению, а на глубинах от 7 до 25 м тенденцию к повышению с трендом $0,03^{\circ}\text{C}/\text{год}$.

Современные изменения горного оледенения Земли Принца Карла и западной части Земли Норденшельда (арх. Шпицберген)

Чернов Р.А., Муравьев А.Я.

Институт географии РАН, Москва

rob31@mail.ru

Потепление климата на арх. Шпицберген, начавшееся в 1920-х годах, привело к значительному сокращению его горного оледенения. Наибольшие изменения горных ледников отмечены в западной части Земли Норденшельда и на острове Земля Принца Карла. Увеличение средних летних температур воздуха до 1,5°C за последние полвека на этой территории происходило на фоне небольшого увеличения количества твердых осадков в конце XX века, что привело к повышению уровня климатической снеговой линии на 200–250 м. Многие ледники, расположенные на низких гипсометрических уровнях, лишились области аккумуляции, а интенсивное летнее таяние привело к их заметному сокращению.

Сравнение границ ледников показало, что с 1936 по 2016–2017 гг. площадь ледников западной части Земли Норденшельда сократилась на 169,48 км² или на 49,5%. Оледенение Земли Принца Карла за тот же период сократилось на 58,17 км² или 50,9%. Наибольшие абсолютные потери площади обеспечили крупные долинные ледники и многочисленные малые ледники, лежащие на высотах ниже 500 м.

Наибольшие темпы сокращения ледников были отмечены во второй половине XX века на о. Земля Принца Карла и с 2000-х гг. в западной части Земли Норденшельда. При этом ледники, лежащие в центральных и восточных районах Земли Норденшельда, оказались более устойчивы к климатическим изменениям, благодаря их высотному положению и более низкому температурному фону у восточного побережья о. Западный Шпицберген. Наибольший вклад в сокращение площади оледенения Земли Принца Карла внесли языки крупных ледников, расположенных на восточном побережье. В 2017 году площадь оледенения Земли Принца Карла составила 56,01±3 км², а потери площади ледников в 1990–2017 гг. составляли около 0,8 км² или 1% в год. Площадь оледенения западной части Земли Норденшельда в 2016–2017 гг. составляла 172,73±9,31 км², а её ежегодное сокращение в период с 1990 по 2016–2017 гг. – 2,78 км² или 1,1%.

Сокращение оледенение горного узла Таван-Богдо-Ола с максимума малого ледникового периода

Ганюшкин Д.А., Чистяков К.В., Кунаева Е.П., Волков И.В., Банцев Д.В.

Исследование основано на результатах многолетних полевых исследований, анализе спутниковых данных и АФС. В малый ледниковый период реконструировано 243 ледника суммарной площадью 353,4 км². По результатам дешифрирования снимков Corona к 1968 г. число ледников возросло (236) при уменьшении суммарной площади до 242 км². На 2010 г. (с дополнениями по результатам полевых исследований 2015 г.) оледенение представлено 237 ледниками суммарной площадью 200,9 км². Таким образом, с максимума малого ледникового периода оледенение горного узла Таван-Богдо-Ола сократилось на 43%, что несколько меньше по сравнению с соседними ледниковым центрами (хребет Чихачева, массивы Цамбагарав, Ценгел-Хайрхан, Монгун-Тайга). Вероятная причина – более гумидные условия горного узла Таван-Богдо-Ола, а также преобладание более крупных ледников, относительно устойчивых к потеплению. Влияние размеров ледников на их устойчивость подтверждается различиями в относительном сокращении ледников в разных частях массива Таван-Богдо-Ола: наименьшее сокращение произошло в бассейнах р. Цаган-Гол (27%) и Сангадыр (37%) где расположены наиболее крупные ледники; напротив, на сниженной периферии массива, где преобладают малые ледники, относительное сокращение было велико (74-79%).

**Измерение мощности ледников
на основе анализа переменной составляющей потенциала
при вертикальном электрическом зондировании**

Сергеев И.С., Штыкова Н.Б., Ганюшкин Д.А., Глебова А.Б.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле

В процессе проведения Институтом наук о Земле комплексной гляциологической экспедиции летом 2017 г. в западной Монголии был выполнен ряд геофизических измерений по типу вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) с фиксацией переменной составляющей напряжения.

Измерения были выполнены в 13-ти точках ледников массива Цамбагарав. При анализе полученных спектрограмм выявлено, что кроме шумовой составляющей присутствует сигнал превосходящей амплитуды периодического изменения электрического напряжения. Выявлено в каждом случае одно максимальное амплитудное значение спектрограммы на промежутке периодов сигнала от 0,08 с до 0,23 с, что указывает на гармонические изменения электросопротивления в приповерхностной части ледника в точках измерений.

Были проанализированные возможные источники данного сигнала. В итоге, для объяснения наблюдаемого явления привлечены сейсмологические данные. По данным Т. Рикитаке и др., низкочастотные механические колебания различной природы в горных породах естественным образом трансформируются в соответствующие изменения электрического сопротивления порового пространства породы. Кроме этого, в зафиксированных сигналах на ледниках массива Цамбагарав присутствует значимая гармоническая составляющая повышенной амплитуды с несколько различающимся периодом от точки к точке. Наличие этого факта указывает на существование акустического резонанса в ледниковом теле, связанного с мощностью ледника в точке измерения.

Для проверки этого вывода полученные значения спектральных выбросов в точках измерения были пересчитаны в мощность льда и результаты сопоставлены с известными данными для Восточного купола Цамбагарав. Сравнение дало очень близкие значения мощности ледника. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о новом, ранее не известном явлении – периодическом изменении электросопротивления поверхностной части ледника, с наличием значимой гармонической составляющей, являющейся функцией от мощности ледника.

Тепловой баланс ледника №18 (Восточный Саян, юг Восточной Сибири)

Осипова О.П.¹, Осипов Э.Ю.²

¹Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

²Лимнологический институт ЛИИ СО РАН, Иркутск, Россия

olga@irigs.irk.ru

Для исследования связи между абляцией и климатом на континентальных ледниках Сибири были впервые проведены метеорологические и краткосрочные гляциологические наблюдения в области аккумуляции ледника №18 в Восточном Саяне, рассчитан поверхностный тепловой баланс ледника, проанализированы вариации компонентов теплового баланса. Горно-долинный ледник №18 находится в районе массива Пик Топографов (3089 м). Это второй по площади (0,93 км²) ледник в Восточном Саяне. Была использована автоматическая метеостанция Davis Vantage Pro2, которая устанавливалась на средней высоте ледника (2550 м) в конце июня и снималась в конце августа (2015-2017 гг.). Тепловой баланс поверхности ледника рассчитывался по формуле с интервалами в 1 час и 1 день. Компонентами теплового баланса являются: радиационный баланс, явный приток тепла в результате турбулентного обмена, скрытое тепло связанное с испарением/конденсацией, теплообмен внутри верхнего слоя ледника, поступление тепла с жидкими осадками. Коротковолновая радиация (КВР) измерялась непосредственно метеостанцией. Длинноволновая радиация (ДВР), явный и скрытый потоки тепла, тепло поступающее с осадками и теряемое при теплообмене внутри ледника рассчитывались по общеизвестным формулам. Для расчета явного и скрытого потоков тепла использовалось число Ричардсона. Мы сравнили изменения температуры и осадков на леднике и ближайшей метеостанции Орлик. Результаты сравнения показали, что наблюдается тесная корреляционная зависимость между температурой на леднике и метеостанции (r от 0.78 до 0.90). В дальнейшем можно использовать данные этой метеостанции при долговременном моделировании баланса массы ледника.

По абсолютным значениям баланс КВР примерно в 2 раза превышает баланс ДВР (95 и -51 Вт/м², соответственно). Максимум КВР достигал 173 Вт/м², а минимум ДВР -95 Вт/м². Преобладал приход тепла к ледниковой поверхности за счет турбулентного переноса и конденсации, при этом энергия турбулентного переноса немного превышала энергию конденсации. Изменчивость теплового баланса зависит, главным образом, от величины радиационного баланса ($r = 0.77-0.88$), особенно его длинноволнового компонента ($r = 0.80-0.81$). Однако турбулентный теплообмен также существенно влияет на межсуточные колебания теплового баланса ($r = 0.53-0.68$). Так как мы приняли среднюю суточную температуру ледниковой поверхности за ноль, уходящая ДВР остается постоянной. Основным энергетическим источником для таяния является баланс КВР (до 95%). Наиболее чувствительным параметром, влияющим на радиационный баланс, является альbedo поверхности. Турбулентный теплообмен является вторым по значимости источником поступления тепла. Доля притока явного тепла в таянии составляет до 13%, скрытого (за счет конденсации) – до 10%. Приток тепла за счет жидких осадков незначителен. Преобладает устойчивая стратификация атмосферы (за счет устойчивой температурной инверсии). В расходной части теплового баланса эффективное излучение ледниковой поверхности (за счет ДВР) составляет до 50%.

Дальнейшие исследования будут направлены на получение дополнительных экспериментальных данных по температуре на поверхности ледника и в его верхнем слое, ДВР и турбулентного теплообмена.

ДЕГРАДАЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ В БАСЕЙНАХ РЕК ПСКЕМ И ЧАТКАЛ (ЗАПАДНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)

Кокарев А.Л., Когутенко Л.В., Северский И.В., Шестерова И.Н., Егоров А.Б.

Институт географии Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы

Рассмотрены изменения ледников двух трансграничных бассейнов рек Пскем и Чаткал (Западный Тянь-Шань, бассейн реки Сырдарья) за период с 1977 по 2014 гг. Основой послужили данные каталогов ледников бассейнов по состоянию на 1977, 1994 и 2014 гг., составленных по космическим снимкам Landsat MSS/TM/OLI_TIRS полуавтоматическим методом и вручную. Согласно результатам наших исследований, при условии грамотного применения фильтров и тщательного визуального критического анализа полученных данных дешифрирования космических снимков, результаты оценки обоими методами хорошо согласуются: разница в определении общей площади открытой части ледников составила менее 1 %. В отсутствие ручной обработки данных, получаемых при обработке космических снимков автоматическим методом, вероятны неприемлемые ошибки 20 % и более. По состоянию на 2014 г. площадь ледников бассейнов рек Пскем и Чаткал составила 96,2 и 28,1 км² соответственно. За 37 лет (с 1977 по 2014 гг.) площадь ледников в бассейне реки Пскем сократилась на 31 % (по 0,8 % в год) а в бассейне р. Чаткал на 54 % (по 1,5 % в год). За период с 1957 г. – со времени составления первого каталога – площадь открытой части ледников к 2014 г. сократилась на 18 % (по 0,3 % в год) в бассейне р. Пскем и на 49 % (по 0,9 % в год) в бассейне р. Чаткал. По нашему мнению, данные, представленные в первом каталоге, значительно занижают площади практически всех ледников в бассейне. Предварительный анализ изменений температуры воздуха и сумм осадков по данным близлежащих метеорологических станций за последние 60 лет показал положительные тренды температуры воздуха и отсутствие значимого тренда в осадках.

Дистанционные методы исследования пульсирующих ледников Каракорума

Башкова Е.И.

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова,

географический факультет

katya.24099771@gmail.com

В данной работе рассматриваются подвижки 4 ледников, расположенных в горной системе Каракорум. Они являются притоками ледника Панмах, шестого по величине ледника в регионе. Этот крупный ледник состоит из двух основных ветвей – ледников Чоктой и Нобанде Собонде. Рассматриваемые пульсирующие ледники при подвижке примыкают ко второй ветви ледника Панмах – Нобанде Собонде, и носят названия Шингчукпи, Мэйдан, Чиринг и Дренмаг [2].

Информация о более ранних подвижках указывается в работах К. Hewitt (1998, 2007), включая исторические записи и первое полноценное наблюдение подвижки в данном регионе [1]. Но подвижку, произошедшую в 2002-2005 годах, можно назвать уникальной для выбранного района. Именно в этот период выбранные ледники продвинулись синхронно, в отличие от прошлых подвижек.

На основе космических снимков спутника Landsat были получены данные, анализируя которые можно сказать, что самая активная подвижка в 2005 году произошла у ледников Шингчукпи и Мэйдан, а самая незначительная – у ледника Чиринг. Это можно объяснить тем, что ледник Чиринг – единственный из всех исследуемых ледников, который продвигался в 1994-1996 годах. Вероятно, за счет изменения климатических условий он быстро начал набирать критическую массу, но такого короткого времени недостаточно для проявления мощной подвижки. Подвижка ледника Дренмаг началась позже, чем на других ледниках, что может быть в какой-то степени объяснено тем, что ледник Дренмаг имеет иную экспозицию, нежели другие изучаемые ледники.

На данный момент все четыре ледника исследуемого бассейна ледника Панмах находятся на стадии восстановления. Предположительная причина единовременной пульсации выбранных четырех ледников будет рассмотрена в данной работе.

Список литературы

1. Hewitt K. Glaciers Receive a Surge of Attention in the Karakoram Himalaya // *Eos*, Vol. 79, No. 8, February 24, 1998, pp. 104-108.
2. Hewitt K. Tributary glacier surges: an exceptional concentration at Panmah Glacier, Karakoram Himalaya // *Journal of Glaciology*, Vol. 53, No. 181, 2007, pp. 181-188.

Формирование боковых морен пульсирующих ледников Западного Шпицбергена

Кокин О.В.^{1,2}, Кириллова А.²

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия*

² *Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Россия*

На Западном Шпицбергене насчитывается 155 ледников, на которых либо наблюдалась пульсация, либо, вероятнее всего, была пульсация, судя по особенностям поверхности ледника. Было проведено дешифрирование и анализ дистанционных материалов краевых зон 80 пульсирующих ледников на предмет конфигурации боковых морен на выходе за скальное обрамление горных долин. По цифровой модели рельефа Arctic DEM для этих же ледников был оценен характер продольного профиля долины перед выходом за скальное обрамление и после него. В результате было установлено, что около 50% (41 шт) проанализированных ледников имеют боковые морены, выходящие за скальное обрамление долины, из них 70% (28 шт) имеют равномерный продольный профиль в районе выхода ледника за скальное обрамление. Среди последних 86% (24 шт) имеют прямолинейные боковые морены. Таким образом, на примере конкретных современных пульсирующих ледников Западного Шпицбергена можно говорить о корреляции ледниковых пульсаций с конфигурацией боковых морен и строением продольного профиля при выходе ледников за скальное обрамление горных долин. При этом можно считать, что спрямленные боковые морены при выходе за скальное обрамление у ледников без резких перегибов коренного ложа в краевой зоне можно считать одним из самых надежных признаков ледниковых пульсаций на Западном Шпицбергене (пульсация + выход за скальное обрамление + равномерный уклон = прямые боковые морены).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00274 мол_а.

Особенности формирования ледникового стока юго-восточного Алтая по изотопным данным

Банцев Д.В.¹, Ганюшкин Д.А.¹, Екайкин А.А.^{1,2}, Чистяков К.В.¹, Токарев И.В.¹

¹ СПбГУ

² ААНИИ

Исследования содержания стабильных изотопов (δD and $\delta^{18}O$) производились летние месяцы 2012 – 2018 гг. на территории массивов Табын-Богдо-Ола (РФ и Монголия), Цамбагарав (Монголия) и Монгун-Тайга (РФ). Основной целью являлось определение особенностей формирования стока с высокогорных районов с развитым современным оледенением в середине сезона абляции. По результатам производимых работ были получены средние изотопные характеристики основных стокоформирующих компонентов, таких как ледниковый лед, сезонный снег на поверхности ледников, атмосферные осадки. Изотопные исследования сопровождались измерениями общей минерализации, а также гидрологическими и метеорологическими наблюдениями. Методом изотопного разделения были получены доли основных стокоформирующих компонентов для крупных водотоков массивов Цамбагарав и Табын-Богдо-Ола. Также получены данные об изотопном составе летних событийных осадков, которые были сопоставлены с их источником путем анализа обратных траекторий. Полученные данные об изотопном составе объектов гидросферы могут быть использованы в дальнейших гляциологических, гидрологических и климатологических исследованиях на территории юго-восточного Алтая.

Об особенностях движения горно-долинных ледников

Мавлюдов Б.Р.

Институт географии РАН

При движении горно-долинных ледников скорости неравномерны по протяжению и постепенно затухают к языкам ледников. В том же направлении обычно уменьшается мощность льда. При этом поверхность большинства ледников остается практически неизменной, оставаясь пологой наклонной, а ложе ледника может существенно изменяться, имея возвышения и понижения подледного рельефа. Ледники, которые текут по неровному ложу, имеют приблизительно одну и ту же скорость течения на поверхности, протекая над понижениями и выступами ложа. Если же сравнить массу льда, которая протекает через сечение ледника в переуглублении и на возвышении ложа, то получится, что через переуглубление ложа должен протекать больший объем льда, чем протекает через возвышение ложа. А поскольку это невозможно, то остается предположить, что ледник в долине движется как-то по-другому. Ледник при движении касается поверхности породы на вершинах выступов ложа. При этом над переуглублением ложа должна двигаться только верхняя часть ледяной толщи, в то время как нижняя часть льда должна оставаться неподвижной или двигаться медленнее, чем верхняя часть. Границей между такими потоками льда, движущимися с разными скоростями, должна быть плоскость скольжения. Она должна иметь форму огибающей сглаженной поверхности, которая касается ложа только на скальных выступах. Если такие плоскости скольжения существуют внутри льда, то вполне естественно, что талая вода, проникающая с поверхности внутрь ледника по трещинам, достигая плоскости скольжения, будет растекаться по ней в соответствии с ее уклоном, вызывая активизацию движения ледника в весеннее время (весеннее ускорение ледника). При этом, как это было обнаружено на ряде ледников, вода на ложе почти не попадает. Если это так, то движение воды внутри ледника определяется не рельефом ложа, а рельефом плоскости скольжения, расположенной внутри ледяной толщи. Рельеф ложа в этом случае будет определять движение воды только на языке ледника. Наличие плоскости скольжения внутри льда может объяснить такие явления как весеннее ускорение движения ледников, формирование протяженных систем внутреннего дренажа (длиной в десятки километров), серджи, формирование озера. Дело осталось за малым – доказать существование таких плоскостей скольжения внутри ледяной толщи.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований президиума РАН № 55 (?).

Оценка вклада снежных лавин в питание ледников

Турчанинова А.С., Лазарев А.В., Селиверстов Ю.Г., Комаров А.Ю., Марченко Е.С.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Вклад снежных лавин в питание ледников является наименее изученным компонентом приходной составляющей их баланса массы. Несмотря на то, что вопрос об оценке лавинного питания ледников стоит уже достаточно давно, измерений и расчетов лавинной аккумуляции на ледниках крайне мало. В работе предложена новая методика оценки лавинного питания ледников, основанная на использовании методов геоинформационного картографирования и математического моделирования, которая позволит впервые количественно оценить вклад снежных лавин в питание ряда ледников без проведения наземных снегомерных съемок. Методика включает в себя: анализ рельефа; анализ данных метеорологических наблюдений; оценку объемов снежных лавин в заданный зимний период; математическое моделирование снежных лавин для оценки количества перенесенного ими снега на поверхность ледника; оценку доли лавинного питания в балансе массы ледника. На основе предложенной методики впервые выполнена оценка вклада снежных лавин в питание ледника Западный Суек (Внутренний Тянь-Шань). Установлено, что доля лавинного питания в среднюю по снежности зиму 2015/2016 гг. на рассмотренном леднике составила около 13%. Предложенная в работе методика будет использована для оценки лавинного питания ледников в разных горных районах, где есть данные о рельефе, проводятся стандартные метеорологические наблюдения, а также проводились наблюдения за снежными лавинами. Результаты количественной оценки вклада лавин в питание ледников имеют большую научную значимость в силу высокой чувствительности компонентов приходной составляющей баланса массы ледников к изменению климата. Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 18-35-00419 «Исследование вклада снежных лавин в питание ледников при недостатке данных прямых наблюдений».

Определение характеристик снежного покрова с помощью автоматических измерителей температуры

Дюкарев Е.А., Макеев Е.А., Кураков С.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

В работе представлены результаты мониторинга высоты и температуры снежного покрова с использованием автоматических измерителей температуры. Наблюдения проводились на Бакчарском болоте (Томская обл.) с 2012 по 2017 гг. на нескольких пунктах, включавших открытые и залесенные олиготрофные болота и незаболоченные участки.

Цифровые датчики температуры размещаются над поверхностью почвы на трехпроводной печатной плате с регулярным шагом (5 см) до высоты 70 см и подключены по однопроводному интерфейсу к регистратору данных. Измерения температуры выполнялась с шагом 1 час. Высота снежного покрова определяется по превышению заданного порогового значения разницы показаний между двумя соседними датчиками.

Получено, что высота снежного покрова увеличивается в течение зимы, достигая 45–90 см в середине марта, после чего быстро уменьшается. Наибольшая максимальная высота снега за зиму была зарегистрирована в марте 2015 г., наименьшая – в 2016 г. На открытых участках болота снежный покров накапливается хуже, чем на облесенных. В заболоченном лесу или болоте с сосной, высота снега на 30–40 % больше, чем на открытой топи.

Влияние оттепелей на снежный покров и промерзание грунта при климатических изменениях

Сосновский А.В., Осокин Н.И.

Институт географии РАН

Климатические изменения приводят к росту числа оттепелей и жидких осадков. В районах распространения многолетнемерзлых пород (ММП), в частности, на архипелаге Шпицберген, это может приводить к снижению выхолаживания грунта, нагреву поверхности ММП до нулевых температур и возможной их деградации.

Оттепели оказывают на грунт разнонаправленное действие. При небольшой толщине снега оттепели и жидкие осадки приводят к нагреву снежного покрова и температуры поверхности грунта до 0°C. Такая температура будет сохраняться как в течение оттепели, так и в период промерзания влажного снега после оттепели. Это приводит к задержке выхолаживания грунта из-за необходимости промерзания влажного снега, его охлаждения, повторного охлаждения грунта до предыдущего состояния перед оттепелью. В итоге происходит потеря времени на выхолаживание грунта из-за затрат атмосферного холода на охлаждение снежного покрова и выход на термический режим грунта до оттепели.

Наряду с этим есть ряд факторов, улучшающих промерзание грунта в период после оттепели. Так, при оттепели увеличивается влажность снежного покрова и при его промерзании растет плотность, уменьшается высота снежного покрова, часть насыщенного водой снежного покрова может сформировать ледяные слои с высокой теплопроводностью. Кроме этого у промерзшего влажного снега улучшаются контакты между кристаллами льда, что приводит к росту твердости и теплопроводности снега. В результате этого после оттепели может ускориться выхолаживание грунта.

Для оценки влияния оттепели на промерзание грунта были проведены численные эксперименты. Они показали, что при оттепели в первой половине холодного периода может увеличиться глубина промерзания грунта из-за снижения термического сопротивления снежного покрова. Этому сценарию будет способствовать изменение динамики снегонакопления при современном климате. Так, все большая часть твердых осадков выпадает в первой половине холодного периода. Поэтому при оттепели в этот период большая часть снежного покрова будет подвержена влиянию оттепели и снижению термического сопротивления снежного покрова в дальнейшем. В результате меньшая часть осадков выпадет во второй части зимы и меньше свежего рыхлого снега отложится за период после оттепели.

Особенности распределения органических соединений в снежно-ледяном покрове Белого моря

Немировская И.А.

Интерес к исследованию углеводородов (УВ) в значительной степени обусловлен нефтяным загрязнением морских акваторий, так как на их долю приходится до 95% нефти и нефтепродуктов. Снежно-ледяной покров меняет картину поведения нефти при разливах, так как создает два дополнительных барьера снег–лед и лед–вода. Теоретические расчеты показали, что образование ледового покрова примерно в два раза сокращает площадь разлива.

Представлены результаты многолетних исследований (2010, 2012, 2015–2017 гг.) алифатических углеводородов и взвешенного вещества в снежно-ледяном покрове Белого моря: губы Ругозерской (район биологической станции МГУ – ББС, периферия Кандалакшского залива), устья Северной Двины (озера в районе г. Архангельска), устья Онеги. В снеге, из-за загрязнения атмосферы в отопительный сезон, концентрации углеводородов повышались от февраля к марту, особенно в устье Северной Двины (до 616 мкг/л). Отличительная черта Белого моря состоит в том, что толщина снега и припайных льдов соизмеримы. Поэтому верхняя часть ледяных кернов прибрежных районов Белого моря, как правило, образована мутным матовым льдом снежного генезиса, а нижняя – обводненным кристаллическим льдом. Во льду в зависимости от условий льдообразования концентрирование УВ происходит в разных частях керна. В верхней части льда на их содержание оказывает влияние поступление со снегом, а в нижней – из подледной воды. Большое количество взвеси во льдах, а также гидрофобные свойства УВ обуславливают преимущественное содержание их во взвешенной форме даже в фоновых арктических и антарктических районах. Вода при волнении на поверхности размягчает лед и оказывает на его структуру двойное действие: увеличивает число каналов и капилляров во льду, а также расширяет их диаметр, что интенсифицирует процессы обмена между водой и льдом. Функционирование экосистемы льда приводит к интенсивному накоплению органических соединений, в том числе и УВ за счет фотосинтеза ледовой флоры на границе лед–вода.

В снеге взвесь и ОС имеют терригенный характер, а во льду и, особенно, на границе лед-вода – преимущественно биогенный. Это подтверждает не только просмотр взвеси снега из различных слоев льда под сканирующим электронным микроскопом, но и состав алканов. На озерах в районе Архангельска максимальное количество УВ (1605 мкг/л) установлено в снеге о. Заднее, наиболее приближенном к городу, а минимальное (98 мкг/л) – в снеге о. Светлое, находящегося в удалении от Архангельска на северо-восток. Продолжение исследований снежно-ледяного покрова в марте 2017 г. на озеро Пикалево, находящего на западе от Архангельска, установило значительный диапазон концентраций УВ в снеге: 31–260, в среднем 94 мкг/л. Взвесь, выделенная из снега, имела черный цвет, так как состояла из сфер сгорания, золы ТЭЦ, сажи и др. антропогенных частиц.

Установлено, что несмотря на низкие зимние температуры, в пограничных слоях снег–лед и лед–вода интенсивно происходят как процессы разложения, так и синтеза органических соединений, в том числе и УВ. В верхней части керна льда, как и в снеге, минеральная часть преобладала над биологической. Видовое разнообразие водорослей последовательно повышалось от снега к нижней части льда, где минеральные частицы практически не встречались. Продукты сгорания также не обнаружены. Подводно-подледные исследования показали, что основное распределение организмов связано с поверхностью основания льда. Проведено сопоставление полученных данных с результатами изучения углеводородов в снеге и льде в фоновых районах Арктики и Антарктики.

Таксономическое разнообразие в пыльцевых спектрах зимних атмосферных осадков Алтая

Курятникова Н.А.^{1,2}, Малыгина Н.С.², Митрофанова Е.Ю.²

¹Алтайский государственный университет,

²Институт водных и экологических проблем СО РАН

Биологические аэрозоли, представленные пылью и фрагментами растений, спорами папоротников, водорослями, вирусами и бактериями, попадая в атмосферу, оказывают косвенное воздействие на климат, перераспределяя радиационные потоки и участвуя в процессе нуклеации облаков. Пыльцевые зерна являются одними из самых крупных биоаэрозолей (10-100 мкм), имеют сезонный характер распространения и могут переноситься на тысячи километров. Однако, изучению поступления пыльцевых зерен с атмосферными осадками (особенно в зимний период), играющими важную роль в формировании как всей криосферы, так и отдельных ее компонентов, к сожалению, в настоящее время не уделяется должного внимания.

Твердые атмосферные осадки на Алтае (г. Барнаул) отбирали с ноября 2015 по март 2016 г. на открытой площадке в цилиндрические пробоотборники (31 проба), после концентрирования просматривали под световым микроскопом Nikon Eclipse 80i.

В 30% случаев были обнаружены пыльцевые зерна лиственных (*Betula* sp.) и хвойных (*Pinus* sp.) деревьев, трав (сем. *Chenopodiaceae*, *Asteraceae* и *Poaceae*, а также *Artemisia* sp.), которые предположительно имели адвективный характер заноса. 70% пыльцевых зерен составили древесные таксоны, в которых преобладала береза (40%), встречаясь в 25% проб. Пыльцевые зерна сосны (*Pinus* sp.) были выявлены в пяти пробах, составляя 30% всего спектра. Максимальная концентрация пыли древесных (55% от общего числа древесных таксонов) была определена в пробе 11 декабря 2015 г. Так же в этой пробе были выявлены пыльцевые зерна полыни, злаков и астровых. В целом, травянистые таксоны составили 30% от спектра сезона. Из представителей этой группы преобладала *Chenopodiaceae* (17%), встречаясь в 12% проб. Пыльца *Poaceae* и *Artemisia* sp. представлена в равном количестве (4,5%), встречаясь в 3% проб. Пыльца *Asteraceae* была обнаружена только в пробе 27 ноября 2015 г., что соответствует началу зимнего сезона.

Следует отметить, что вся пыльца, идентифицированная в атмосферных осадках, принадлежит так называемым анемофильным, или ветроопыляемым видам растений, пыльцевые зерна которых приспособлены для переноса по воздуху на значительные расстояния. В дальнейшем, используя обратные траектории движения воздушных масс (модель HYSPLIT) и основываясь на данных пыльцевого анализа атмосферных осадков, были установлены регионы-источники поступления пыльцевых зерен и расстояния, на которые была перенесена пыльца.

К вопросу решения нестационарной задачи уплотнения снежно-фирновой толщи для определения глубины захвата атмосферного воздуха

Чихачев К.Б., Липенков В.Я.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

Датировка ледяных кернов в холодных зонах льдообразования обычно производится по характеристикам атмосферных осадков (химическому и изотопному составу, электропроводности). Возраст атмосферного воздуха, захваченного на границе замыкания пор, т.е. на границе перехода фирна в пузырьковый лед, равен нулю, а разница в возрасте газа и окружающего льда равна возрасту ледяной толще на этой глубине. В зависимости от изменений гляциологических условий на поверхности (приземной температуры воздуха и скорости снегонакопления), возраст льда на указанной глубине меняется. Для уточнения данного временного сдвига в условиях быстрых изменений климата в современную климатическую эпоху и во время резких потеплений последнего ледникового периода разработана нестационарная физическая модель уплотнения снежно-фирновой толщи. Для этого сопряжены существующие физические модели уплотнения снежно-фирновой толщи и теплопереноса в толще ледника, разработана численная схема, проведены численные эксперименты по определению чувствительности модели к вариациям гляциологических параметров. Проведены реконструкции изменений профиля плотности снежно-фирновой толщи в районе станции Восток (Центральная Антарктида). Полученные результаты позволяют уточнить вариации глубины, а, значит, и возраста захвата атмосферного воздуха, что важно при вычислении истинной атмосферной амплитуды роста концентрации метана (как индикатора резких климатических изменений) в атмосфере во время переходов от стадиялов к интерстадиялам во время последнего оледенения.

Работы выполняются по гранту РФФИ 18-35-00582 мол_а.

Определение высоты снежного покрова с использованием ДДЗ

Комаров А.Ю.¹, Селиверстов Ю.Г.¹, Турчанинова А.С.¹, Гребенников П.А.¹, Сократов С.А.², Сучилин А.А.³, Энтин А.Л.³, Владимирова М.Ю.⁴

¹ МГУ им. Ломоносова, Географический факультет, научно-исследовательская лаборатория снежных лавин и селей

² МГУ им. Ломоносова, Географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии

³ МГУ им. Ломоносова, Географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики

⁴ МГУ Геодезии и картографии (МИИГАиК), Геодезический факультет

Представлены результаты измерений высоты снежного покрова, выполненных на площадке метеорологической обсерватории МГУ им Ломоносова в 2017-2018 годах с использованием методов прямых наблюдений и дистанционного зондирования. Работы, проводившиеся в ходе исследования, включали определение координат опорных точек, аэрофотосъёмку с БПЛА, наземное лазерное сканирование и наземные измерения высоты снежного покрова.

Аэрофотосъёмка площадки проводилась при помощи БПЛА DJI Phantom 4 Pro с высоты 30 м и перекрытием между соседними снимками порядка 80-90 %. Съёмка выполнялась пять раз за зимний сезон 2017-2018 гг. Наземное лазерное сканирование проводилось для создания цифровой модели подстилающей поверхности и для определения высоты снега. Наземные измерения высоты снежного покрова выполнялись после каждого залёта; точки измерений располагались вдоль профилей, параллельных длинной стороне площадки, на расстоянии 50 см или 1 м друг от друга.

В ходе исследования установлено, материалы съёмки снежного покрова при помощи БПЛА и лазерного сканера позволяют с приемлемой точностью оценивать высоту снежного покрова и получать достоверную модель снежного покрова значительных по площади участков. Наиболее важными факторами, влияющими на точность определения высот с использованием автоматизированной фотограмметрической обработки данных БПЛА, является состояние поверхности снежного покрова и степень его освещенности.

Максимальные разности высот, полученных на основе аэрофотосъёмки, и наземных измерений не превышают 15 см, а среднеквадратическая ошибка составляет порядка 6,1 см. Сопоставление данных аэрофотосъёмки с данными наземного лазерного сканирования также не выявляет заметных отличий (среднеквадратическая ошибка не более 5 см).

Анализ тенденций изменений гидрологии сибирских арктических морей в условиях глобального потепления

Голубева Е.Н., Платов Г.А.

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
630090, г. Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 6
elen@ommfao.sccc.ru*

Основным инструментом исследования является численное моделирование, основанное на использовании современных сложных моделей компонентов климатической системы и моделей промежуточной сложности с идеализированными параметризациями физических механизмов и краевых условий. Численные эксперименты проводятся на основе совместной модели океана и морского льда SibCIOM, разработанной в ИМВиМГ СО РАН, с привлечением результатов реанализа, а также результатов прогностических расчетов на 21 век основных климатических моделей CMIP3-CMIP5, полученных в рамках сценариев МГЭИК.

Выявление основных циркуляционных мод для всего арктического региона и для отдельных морей осуществляется на основе сингулярного разложения временного хода вектора состояния, полученного в ходе численного моделирования климатической системы в период с 1948 по 2016 гг., а также по результатам сценарных расчетов с использованием данных построенной модели климатической системы и ряда моделей CMIP3-CMIP5 на период с 2006 по 2100. В отличие от классического подхода, когда используется единственное поле (например, поле приземного давления), использовался вектор состояния, состоящий одновременно из 4 компонент: поля приземного давления, поля приземной температуры и двух горизонтальных компонент приземного поля ветра.

Анализ изменчивости циркуляции вод и гидрологии сибирских арктических морей в зависимости от основных климатических индексов осуществляется с использованием статистического регрессионного анализа временных рядов индексов NAO, AO, PDO с временными рядами имеющихся наблюдений и результатами модельных расчетов с целью выяснения наиболее выраженных взаимосвязей.

Работа подготовлена при поддержке программы президиума РАН №51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования» и РФФИ (№17-05-00382-А, 17-05-00396-А)

**Будущие изменения климата и характеристик его экстремальности
в регионах Крайнего Севера по оценкам большого ансамбля
региональной модели ГГО**

Пикалёва А.А., Школьник И.М., Ефимов С.В.

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова,
ул. Карбышева, д. 7, Санкт-Петербург, 194021*

pikaleva@main.mgo.rssi.ru

Происходящие в настоящее время климатические изменения дают основания полагать, что в арктических регионах нарастает дефицит адаптации к изменениям климата. Задержки в принятии адаптационных стратегий и их реализации могут привести к возрастанию риска людских потерь, гибели и массовой миграции животных и деградации региональных экосистем. Многообразие климатических изменений и их последствий для российской Арктики определяют необходимость разработки и осуществления адаптационных программ с учетом специфики каждого конкретного региона. Для этой цели наилучшим образом подходят прогнозные оценки климата, выполненные на основе высокоразрешающих модельных систем, позволяющих детализировать региональные особенности глобальных изменений вплоть до масштабов небольших регионов.

Анализируются будущие изменения климата в 21 веке для пяти арктических регионов РФ (Ненецкий АО, Ямало-Ненецкий АО, Таймырский Долгано-Ненецкий район, Республика Якутия, Чукотский АО), полученные с помощью большого ансамбля (50 членов) модели регионального климата высокого пространственного разрешения (25 км). Расчеты проводились от разных начальных условий в атмосфере и на подстилающей поверхности суши для десятилетних периодов: базового (1990-1999 гг.) и трех прогностических (2030-2039 гг., 2050-2059 гг. и 2090-2099 гг.). Использован сценарий радиационного воздействия RCP8.5 МГЭИК.

Рассматриваются оценки изменений специализированных характеристик климата, включая изменения индексов экстремальности, которые лежат в основе проекта, направленного на оценку воздействий на экосистемы Крайнего Севера, создание и укрепление системы особо охраняемых природных территорий для сохранения уникального биологического разнообразия северных регионов. Исследование выполнено при поддержке Фонда Дикой Природы.

The role of snow cover on the Arctic sea coast ground thermal regime variability near Varandey (Pechora Sea)

Kokin O.^{1,2}, Frolov D.¹, Sinitsyn A.^{3,4,5}, Kirillova A.²

¹ *Lomonosov Moscow State University, Russia*

² *Zubov State Oceanography Institute, Russia*

³ *The Foundation for Scientific and Industrial Research (SINTEF) Institute Building and Infrastructure, Norway*

⁴ *Sustainable Arctic Marine and Coastal Technology (SAMCoT), Centre for Research-based Innovation (CRI), Norwegian University of Science and Technology, Norway*

⁵ *The University Centre in Svalbard (UNIS), Norway*

The Arctic sea coasts placed in the transition zone between continental and marine permafrost. Due to the relatively warm sea waters a high gradient of the ground thermal field can be observed during the movement in the direction from a land to a sea. A snowpack formation along a coastal bluff gives the additional warming effect during a winter. So it can be partly responsible for the coastal erosion rates increasing.

The year-round ground temperatures measurements were carried out by thermo strings with data-loggers installed in five boreholes at the coast of Pesyakov Island near Varandey settlement (coastal area of Pechora Sea) in the period from August 2012 to August 2014. The boreholes with a depth from 3,5 to 7 m are situated at different geomorphic positions (foot of coastal bluff, top of dune belt, sand terrace, laida) along transverse profile. The measurements have intervals from 3 to 12 hours in time and from 0,25 to 1 m in depth. Variations of ground near surface temperatures during winters of 2012-2013 and 2013-2014 have been analyzed. Geomorphic position determines differences in snow cover distribution while the air temperature remains common for all boreholes. It makes possible evaluation of snow cover warming effect at different geomorphic positions.

The work was supported by the Russian Science Foundation (project №17-77-10140).

Пространственно-временная изменчивость снежного покрова в Московском регионе

Комаров А.Ю.¹, Селиверстов Ю.Г.¹, Сократов С.А.¹

МГУ им. Ломоносова, Географический факультет

В работе представлены результаты исследования изменчивости строения и свойств снежного покрова в Московском регионе (Москва и Сергиево-Посадский район) за период с 2014 по 2018 годы. Исследования проводились в Москве (на площадке метеорологической обсерватории ГЗ МГУ) и северо-востоке Московской области (г. Хотьково, Сергиево-Посадский район). В обоих случаях репрезентативные площадки представляли собой плоские однородные участки с ненарушенным залеганием снежного покрова, являющиеся типичными для равнинных ландшафтов Восточно-Европейской равнины.

Данные получены в результате комплексных исследований, включающих описание стратиграфии, определение высоты, плотности, типа, размера кристаллов снежной толщи и отдельных ее слоев. Работы включали в себя периодические наблюдения за строением снежной толщи в шурфе и вдоль профилей длиной 5-20 м с определением перечисленных параметров. Всего за 4 года было выполнено 26 серий измерений в Москве и более 50 в районе Сергиева Посада. В Москве осуществлялись регулярные замеры автоматическим датчиком высоты снежного покрова с дискретностью 1 раз в 15 минут.

На основе полученных данных произведены расчет, анализ и сравнение основных характеристик снежного покрова в Москве и Московской области. Построены схемы эволюции снежной толщи в различные по снежности и продолжительности залегания снежного покрова годы. Осуществлено сравнение результатов со средними многолетними значениями, полученными по ближайшим к местам измерений метеостанциям (ВДНХ, Александров, Переславль, Клин).

Определено, что, несмотря на общее сходство процессов, происходящих внутри снежной толщи в течение зимнего периода и определенных общими метеорологическими ситуациями, строение и свойства снежного покрова в Москве и области значительно отличаются. Это, отчасти, объясняется различиями в температурном режиме зимнего периода, особенностями региональной циркуляции атмосферы и обогревающим воздействием города.

Изотопный состав атмосферных осадков Надымской низменности

Малыгина Н.С.¹, Эйрих А.Н.¹, Агбалян Е.В.², Папина Т.С.¹

¹ *ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН, Россия*

² *ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия*

Изучение формирований и изменений изотопных отношений $\delta^{18}\text{O}$ и δD в атмосферных осадках позволяет идентифицировать, как источники поступления атмосферной влаги, выпадающей в виде атмосферных осадков, так и природно-климатические условия изучаемого региона. Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) расположен в трёх климатических поясах – арктическом, субарктическом и умеренном. Основное влияние на формирование климатических условий региона оказывают близость Северного Ледовитого океана, практически сплошное распространение многолетней мерзлоты, пологий равнинный рельеф. Целью наших исследований стало изучение изотопного состава атмосферных осадков, выпадавших в Надымской низменности (ЯНАО) в холодный период года, для оценки особенностей его формирования. Отбор проб твердых атмосферных осадков (выпадавших в виде снега) осуществляли непосредственно после окончания события в период с ноября 2016 по апрель 2017 гг. Изотопный анализ проб атмосферных осадков выполняли в Химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН. Определение изотопного (δD и $\delta^{18}\text{O}$) состава приводили методом лазерной абсорбционной ИК-спектрометрией на приборе PICARRO L2130-i (WS-CRDS). Точность измерения δD и $\delta^{18}\text{O}$ (1σ , $n = 5$) составила $\pm 0,4 \text{ ‰}$ и $\pm 0,1 \text{ ‰}$, соответственно. В качестве внутренних стандартов использовали пробы природной воды, откалиброванные относительно Международных стандартов V-SMOW и V-GISP. Результаты анализа изотопного состава 36 проб атмосферных осадков, показали, что значения $\delta^{18}\text{O}$ варьировали в пределах 20 ‰, а δD в пределах 167 ‰. При этом средневзвешенные значения изотопного состава атмосферных осадков, отобранных с ноября 2016 по апрель 2017 гг. в Надымской низменности, не плохо согласуются с данными GNIP полученными для станции расположенной на удалении порядка 300 км (г. Салехард, ЯНАО) в 1996-2000 гг. Индивидуальные изменения изотопного состава атмосферных осадков связаны как с изменениями температурой окружающей среды в момент выпадения осадков, так и с различными источниками их поступления.

Исследования изотопного состава водяного пара над поверхностью Южного океана

Козачек А.В.¹, Екайкин А.А.^{1,2}, Стеен-Ларсен Х.К.³, Ландэ А.⁴

*1. Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия*

*2. Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия*

3. Центр льда и климата, Университет Копенгагена, Копенгаген, Дания

4. Лаборатория наук о климате и окружающей среде, Сакле, Франция

Антарктическая кругосветная экспедиция АСЕ стартовала в г. Бремерхафен (Германия) 19 ноября 2016 года, финишировала 30 апреля 2017 года в г. Санкт-Петербург (Россия). Во время экспедиции проводились непрерывные измерения изотопного состава водяного пара над поверхностью Южного океана.

Цель этой работы – уточнение результатов палеоклиматических реконструкций, полученных по антарктическим ледяным кернам, получение дополнительной информации о климатической системе регионов, в которых выполнялись работы, верификация климатических моделей.

Для измерений использовались два анализатора изотопного состава водяного пара Picarro L2120-i и Picarro L2130-i. Оба прибора были оснащены двумя типами калибровочных модулей. Использование различных компоновок оборудования Picarro способствовало получению наиболее точных результатов измерения, а также позволило выполнить сравнительную характеристику разных типов оборудования.

В докладе представлен анализ данных, полученных во время работы экспедиции. Выявлены закономерности формирования изотопного состава водяного пара в зависимости от температуры влажности воздуха.

Полученные данные включены в модель формирования изотопного состава ледяных кернов и в дальнейшем будут использованы для уточнения количественных палеоклиматических реконструкций.

Полевые работы выполнялись при финансовой поддержке Федеральной политехнической школы Лозанны, компании Ferring Pharmaceuticals и фонда АСЕ. Анализ данных выполняется при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-05-16001 НЦНИЛ_a).

Изотопный состав снежного покрова Алтая

Эйрих А.Н., Малыгина Н.С., Папина Т.С.

ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН, Россия

Климатическое потепление последних десятилетий [IPCC, 2014] во многом определило интенсивные изменения нивально-гляциальных систем разного уровня [Kohler et al., 2014; Котляков и др., 2015]. В связи с этим, для нивально-гляциальных систем, особенно расположенных внутри континента и их сопредельных равнинных территорий, необходимо проведение достоверных разномасштабных пространственно-временных оценок изменений как всей системы в целом, так и отдельных ее элементов. Реализация таких оценок, возможна на основе климатического моделирования, учитывающего фракционирование изотопологов воды - H_2^{18}O и HD^{16}O при фазовых переходах, которые способны выступать в роли трассеров климатических, гидрологических и гляциологических процессов. Среди основных элементов, формирующих и в значительной степени трансформирующих нивально-гляциальные системы, снежный покров и атмосферные осадки занимают особое место, так как находятся в прямой зависимости от климатических условий. Поэтому основной задачей данного исследования является оценка временных изменений изотопного состава снежного покрова внутриконтинентальной нивально-гляциальной системы (в границах российской части Алтая). Отбор интегральных проб снежного покрова на Алтае проводили в период максимального снегонакопления (март 2014, 2015, 2016, 2017 г.). Изотопный анализ проб выполняли в Химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН на приборе PICARRO L2130-i (WS-CRDS). В качестве внутренних стандартов использовали пробы природной воды, откалиброванные относительно Международных стандартов V-SMOW и V-GISP. Сравнение средневзвешенных значений изотопного состава интегральных проб снежного покрова четырех анализируемых сезонов показало следующее. Наиболее изотопически облегченными были пробы снега холодного сезона 2013-2014 гг., в то время как в холодный сезон 2015-2016 гг. были изотопически утяжелены. Средневзвешенные значения $\delta^{18}\text{O}$ между анализируемыми сезонами отличались более чем на 6 ‰, в то время как δD почти на 40 ‰. Однако углы наклона рассчитанных локальных линий метеорных вод по данным изотопного состава снежного покрова каждого из сезонов в отдельности отличались не существенно и были меньше значения угла наклона для глобальной линии метеорных вод.

Особенности современного химического состава атмосферного аэрозоля и газовых примесей в п. Баренцбург

Голобокова Л.П.¹, Фатеев Н.Н.², Лякушин И.Д.², Сидорова О.Р.²

¹*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск*

²*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*

Рассматривается ионный состав атмосферного аэрозоля, отобранного в п. Баренцбург в течение 2016-2017 гг. С 2017 г. на станции выполняется ежедневный контроль качества атмосферного воздуха на станциях «Гора» и «Поселок», на каждой из которых принимается информация с 9 датчиков-газоанализаторов. Отбор проб аэрозоля выполнялся согласно Руководства, применяемого в международных сетях мониторинга EANET и EMEP. Аэрозольное вещество отбиралось на фильтр PTFE с диаметром пор 0.8 мкм. Предварительные оценки сезонной изменчивости проводились для следующих сроков: 1) ноябрь-март (условно «зима»); 2) апрель-май («весна»); 3) июнь-июль («лето»); 4) август-октябрь («осень»). Максимальное содержание ионов морского происхождения (Na^+ , Cl^-) наблюдается в осенне-зимний период, среди континентальных – SO_4^{2-} в зимне-весенний, Ca^{2+} в зимне-осенний, NH_4^+ – весной. Различие в динамике концентраций ионов континентального происхождения свидетельствует о различных источниках этих ионов в атмосфере. Осреднение концентраций ионов для светлого и темного времени года выявило, что наиболее высокие концентрации ионов, за исключением ионов NH_4^+ и K^+ , были в период полярной ночи. Рассмотрен годовой ход газовых составляющих. Предварительно прослежено влияние атмосферной циркуляции на изменение концентраций озона. Помимо синхронных суточных колебаний выявлены более длительные колебания, находящиеся в явной противофазе с атмосферным давлением. Обратная зависимость концентраций озона, видимо, связана с интенсивностью горизонтальных и вертикальных ветровых переносов. Отмечено, что антропогенные примеси (оксиды серы и азота) способствуют стоку озона. Показано, что изменения концентраций озона и оксидов серы и азота преимущественно связаны с переносами слабо рассеянных шлейфов от ТЭЦ. Предварительные результаты предполагают проведение более длительного периода наблюдений.

Работа выполнялась при финансовой поддержке проектов № 0345-2018-0002, Комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН II.1 и в рамках программы работ Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) ФГБУ «ААНИИ».

Isotopic composition of precipitation in Altai glaciological region

Malygina N.¹, Eirikh A.¹, Barlyaeva T.², Papina T.¹

*¹Institute for Water and Environmental Problems,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*

²Laboratoire d'Astrophysique de Marseille UMR

Intensive climate warming of recent decades [IPCC, 2014] has largely determined the significant changes in the glacial systems of different levels manifested primarily in the form of a catastrophic degradation of high-mountain glaciers, devastating landslides, avalanches, floods, etc. [Kohler et al., 2014; Kotlyakov et al., 2015]. Among the largest glacial systems of Russia, the Altai glaciological region, being located in its intracontinental part and characterized by a great diversity of climatic, glaciological and hydrological conditions, is very sensitive to the manifestation of such changes. The water isotopologues are proved to be good tracers of climatic, glaciological and hydrological cycles. This study presents the results of isotopic composition of atmospheric precipitation and snow cover sampled in foothills of Altai during 2014-2017. The isotopic composition of precipitation varied within a wide range with maximum 32, 208 and 52 ‰ for $\delta^{18}\text{O}$, δD and d_{exc} , respectively. The comparison of results of the isotopic analysis of the snow cover samples with the corresponding in time interval the average weighted values of precipitation showed high consistency (Malygina et al., 2016; Malygina et al., 2017). It has been that the isotopic composition of precipitation is closely related to atmospheric circulation patterns – North Atlantic Oscillation through their effect on the sources and transport of atmospheric vapor. The established relations can be used as the reliable transfer functions for regional paleoreconstructions and climate modelling in the Altai glaciological region and/or for support of robust interpretations of isotopic archive data.

К расчету замерзания соленой воды в капельном факеле

Сосновский А.В., Осокин Н.И.

Институт географии РАН

Эффективным способом очистки и опреснения больших объемов природных и техногенных вод, основанных на применении возобновляемых источников природной энергии, является капельное вымораживание. Он заключается в применении дальнеструйных дождевальных установок для формирования капельного факела при отрицательных температурах воздуха. При зимнем дождевании капли воды диаметром 1 – 2 мм, падающие с высоты 10 – 20 м, покрываются ледяной оболочкой. При небольшой толщине оболочки происходит ее разрушение при падении, и часть незамерзшей воды вытекает из ледяного массива, составленного из разрушенных осколков оболочек капель.

При зимнем дождевании из соленой воды этот процесс приводит к ее опреснению. Замерзание капель соленой воды сопровождается вытеснением ионов солей и примесей от границы промерзания в центральную жидкую часть капли. В результате минерализация жидкой части капли увеличивается. При падении происходит разбиение ледяной оболочки капли, фильтрация незамерзшей воды повышенной минерализации и опреснение ледяного массива. Наши исследования показали, что применение метода капельного вымораживания позволяет еще на стадии намораживания снизить минерализацию массива пористого льда в 10–12 раз.

Для расчета замерзания капли соленой воды решалось уравнение теплопроводности с условием Стефана на фазовой границе и рассчитывалась температура поверхности капли. С ростом замерзания капли понижается температура ее поверхности, ухудшается теплообмен, что снижает эффективность льдообразования. Дана оценка интенсивности льдообразования в зависимости от температуры воздуха, размера капель и воды разной солености.

Внутреннее строение гляциально-мерзлотных каменных образований

Алтай на основе геофизических методов

Дьякова Г.С.¹, Останин О.В.¹, Горяевчева А.А.²

¹*Алтайский государственный университет*

²*Новосибирский государственный университет*

Гляциально-мерзлотные каменные образования (далее – ГМКО) представляют собой скопление сцементированного льдом грубообломочного каменного материала в горах, по форме напоминающее ледники, и обладающее способностью к самостоятельному движению под действием силы тяжести.

Данные образования широко распространены на территории Алтая, в настоящее время их выявлено более 5000.

Выделяется два основных типа ГМКО: каменные ледники и каменные потоки, а также один промежуточный – ГМКО смешанного генезиса. В основе данной классификации лежат генетико-морфологические особенности исследуемых образований. Различия в генезисе накладывают отпечаток на внутреннее строение ГМКО, в частности на характер, локализацию и концентрацию ледяного материала, гранулометрический состав каменного материала, а также процентное соотношение ледяного и каменного материала. В каменных ледниках преобладает унаследованный лёд гляциального происхождения: он консолидированный, с малым количеством примесей. В теле же каменного потока лед формируется в порах и пустотах в каменном материале. Здесь он существенно разобщён, и его содержание в ядрах каменных потоков сопоставимо с количеством каменного материала.

Геофизические исследования гляциально-мерзлотных каменных образований позволяют выявить степень консолидации ледяного материала, мощность ледяных ядер, а также косвенно установить температуру мерзлых толщ. Одним из самых эффективных геофизических методов для данных исследований в мировой практике показал себя метод электротомографии (электротомография). Исследование методом электротомографии (с помощью многоэлектродной электроразведочной станции «СКАЛА-48») внутреннего строения каменных потоков в среднегорной и высокогорной зоне Алтая, а также каменных ледников, проводились в 2015-2018 гг. сотрудниками Алтайского государственного университета и Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН. В результате были получены профили электротомографии протяженностью от 235 до 340 м, заложенные вдоль и поперёк оси движения ГМКО. Анализ геоэлектрических разрезов показал, что кровля мерзлых грунтов у каменных потоков в среднегорной области залегает на глубинах от 3,5 до 10 м, а у ГМКО в высокогорной области – на глубине 3-6 м. Мощность льдосодержащего материала увеличивается с высотой, а температура льда – падает (в среднегорной области она составляет -0,5–1,5°C, а в высокогорной – -4–6,5°C).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00463\18)

Трехмерные геоэлектрические модели гляциально-мерзлотных каменных образований Центрального Алтая

Горейвчева А.А.¹, Оленченко В.В.², Дьякова Г.С.³, Останин О.В.³

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН*

³*Алтайский государственный университет*

Гляциально-мерзлотных каменные образования (ГМКО) имеют широкое распространение на территории Центрального Алтая. Изучение внутреннего строения ГМКО становится актуальным направлением для исследований в связи с активным развитием инфраструктуры горных территорий России. Для получения представлений о генезисе данных объектов, особенностей их морфологии и локализации каменно-ледяных ядер наиболее эффективно себя зарекомендовали геофизические методы, а в частности – метод вертикальных электрических зондирований в модификации электротомографии (ЭТ). В данном исследовании в комплексе с электротомографией использовалась геодезическая и аэрофотосъемка.

Измерения проводились многоэлектродной электроразведочной станцией «СКАЛА-48». Особенностью ЭТ является многократное использование в качестве питающих и измерительных одних и те же фиксированных на профиле электродов. Данная методика позволяет исследовать сложно построенные среды, такие как ГМКО и проводить интерпретацию в рамках двумерных моделей. Устройство заземлений на поверхности ГМКО осуществлялось с подливом солёной воды, что позволяло значительно снизить сопротивления заземлений до приемлемых значений (с первых сотен до первых десятков кОм).

На исследуемых участках были проведены площадные измерения, по данным которых, в результате трехмерной инверсии в программе Res3Dinv, были построены трехмерные геоэлектрические модели внутреннего строения. На основе данных посчитанной трехмерной модели были построены карты распределения УЭС для разных глубин. На карте распределения УЭС на глубине 4 м отображаются особенности строения на подошве деятельного слоя, на карте УЭС на глубине 10 м высокоомными аномалиями отчетливо выделяются льдистые породы. Аномалиям пониженного УЭС соответствуют места разгрузки подземных вод.

Применение метода электротомографии позволило подтвердить наличие каменно-ледяных ядер в теле ГМКО; их локализация хорошо коррелируется с морфологическим строением поверхности ГМКО. В результате анализа геоэлектрических разрезов было зафиксировано, что УЭС каменно-ледяных ядер изменяется от первых десятков тысяч до нескольких сотен тысяч Ом·м, что совпадает с данными зарубежных исследований. Таким образом, в результате площадных исследований методом ЭТ и геоморфологических наблюдений установлены особенности внутреннего строения ГМКО – определены мощности и УЭС ледяных ядер, деятельного слоя, выделены места разгрузки подземных вод, а также выявлена зависимость морфологического строения поверхности ГМКО от их внутреннего строения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00463\18)

Закономерности пространственного распространения каменно-ледяных образований в аридном высокогорье Внутренней Азии

Волков И.В.¹, Ганюшкин Д.А.¹, Банцев Д.В.¹

1- Институт Наук о Земле СПбГУ

Распространённой формой горного оледенения в аридных районах Внутренней Азии являются каменно-ледяные образования различных видов. Разновидности выделяемых в упомянутом регионе КЛЮ имеют различные генезис и факторы, обуславливающие их развитие и активность. При каталогизации КЛЮ исследователями был выделен ряд закономерностей в их пространственном распространении, а именно возможность отметить приуроченность КЛЮ того или иного типа к определенному поясу высот или склонам определённой экспозиции.

Различия в закономерностях пространственного распространения КЛЮ разных типов позволяет, при более подробном изучении этих закономерностей, использовать факт наличия каменно-ледяных образований (как активных, так и древних) того или иного типа в тех или иных местоположениях для реконструкции условий, существовавших на момент возникновения данных КЛЮ.

В работе используются данные, полученные в ходе полевых работ на территории республики Тува, республики Алтай и северо-западной Монголии в 2013-2017 гг., а также результаты дешифрирования космических снимков.

Снежные лавины в условиях гидрометеорологической аномалии весны 2018 г. в Приэльбрусье

Олейников А.Д., Володичева Н.А.

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

На северном склоне Центрального Кавказа в переходный зимне-весенний период 2018 г. была отмечена интенсивная гидрометеорологическая аномалия. Наиболее ярко она проявилась в количестве выпавших осадков. В Приэльбрусье по данным метеостанции Терскол (абс.в. 2141 м) за март выпало 246 мм осадков при зимней норме 282 мм (XI-III). На стационаре географического факультета МГУ, расположенного в 2,5 км выше по долине на поляне Азау (абс.в. 2330 м), было зафиксировано 305 мм. За период инструментальных метеорологических наблюдений в верховьях долины р.Баксан в марте ни разу не было отмечено такого количества осадков. Одна из особенностей аномалии состояла в том, что 70% месячных осадков пришлось на третью декаду марта, которая характеризовалась положительной среднесуточной температурой воздуха. Последствия аномалии проявились в массовом сходе снежных лавин в бассейне р.Баксан. Снеголавинные события марта 2018 г. в Приэльбрусье получили широкое освещение в интернете и средствах массовой информации.

В работе показано место зимы 2017/18 г. в многолетнем ряду наблюдений и рассмотрен сценарий катастрофического развития снеголавинных событий для современной рекреационной инфраструктуры Приэльбрусья, который мог реализоваться в условиях более низких температур воздуха.

Оценка изменчивости высоты снега в лавиноборе по результатам лазерного сканирования

Черноус П.А.¹, Волков А.В.², Федоренко Ю.В.³, Николаев Р.В.²

¹*г. Санкт-Петербург,*

²*АО «Апатит» г. Кировск,*

³*Полярный геофизический институт, г. Апатиты*

Одним из главным факторов, влияющих на диагностику устойчивости снега и возможности лавинообразования, является недостаточно изученная пространственная изменчивость характеристик снега, определяющих его устойчивость, в лавинных очагах. В частности, высоты снежного покрова. Приводятся результаты анализа последовательных снегосъемок в лавинном очаге в Хибинах с помощью специализированного для этих целей сканера Riegl VZ-6000. Высота снега в лавиноборе рассматривается как случайное поле. По результатам наземного лазерного сканирования выполнены оценки математических ожиданий, дисперсий и автокорреляционных функций высоты снежного покрова. Оценена статистическая однородность данных в зависимости от размеров участков залегания снежного покрова и репрезентативность точечных измерений. Рассмотрена связь статистической структуры полей высоты снежного покрова с параметрами статистической структуры подстилающей поверхности. Проведено сравнение оценок параметров пространственной статистической структуры с полученными ранее с помощью традиционных снегосъемок.

Учет лавинной опасности при градостроительной деятельности
Родионова П.М., Турчанинова А.С., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Глазовская Т.Г.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

На примере снежных лавин рассматривается возможность применения зарубежного опыта зонирования территорий по степени опасности воздействия природных процессов и явлений для территориального планирования в Российской Федерации. Риск возникновения чрезвычайных ситуаций рассматривается с использованием двух показателей: повторяемости схода лавин и разрушительной силы, определяемой давлением лавин. Второй показатель оценивается исходя из возможности разрушения сооружений, сделанных из разных материалов и гибели людей в лавинах.

Исследование выполнено на примере горнолыжного курорта Горки Город. Использован сценарий отсутствия противолавинных мероприятий в районе исследования.

На территории курорта было выделено 87 зон зарождения лавин для последующего моделирования лавин с периодом повторяемости 1 раз в 30 лет. Для моделирования лавин с периодом повторяемости 1 раз в 300 лет зоны зарождения были объединены с учетом экспозиции склонов в 29 более крупных зон зарождения. Для расчета высоты формирующих лавины слоев снега использованы данные о трехдневных снегопадах.

С использованием программы RAMMS (SLF, Швейцария) было смоделировано 87 лавин с повторяемостью 1 раз в 30 лет и 29 лавин с повторяемостью 1 раз в 300 лет. Для каждого периода повторяемости были рассчитаны объём и максимальные значения высоты потока, скорости и давления лавины на препятствие, а также дальности выброса лавин. Расчёт показал, что максимальный объём 300-летних лавин достигает 840000 м^3 и превышает объём 30-летних почти в 6 раз. Максимальное давление 300-летних лавин выше 1000 кПа, а максимальное давление 30-летних – достигает 718 кПа.

Общая площадь участков, подверженных воздействию лавин повторяемостью 1 раз в 300 лет, составила $7,8 \text{ км}^2$. Выделено две зоны по повторяемости лавин: 1 раз в 30 лет и чаще, 1 раз в 300 лет и чаще. С учетом разрушительного воздействия лавин выделено пять зон: менее 1 кПа, 1 кПа и более — опасно для жизни человека; 10 кПа и более — лавина разрушает молодые деревья, деревянные здания, автомашины; 100 кПа и более — лавина валит старый лес, разрушает каменные сооружения и металлические конструкции; 1000 кПа — лавина выпихивает русло, разрушает железобетонные сооружения.

Предлагается использование зонирования при организации градостроительной деятельности в нашей стране для оптимизации выбора защитных мероприятий.

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ 16-1700104 «Лавинный и селевой риск на территории России: оценка, прогноз и меры по его снижению».

Оценка лавинного максимума горных территорий (пространственный и временной аспекты)

Олейников А.Д., Володичева Н.А.

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Работа посвящена оценке лавинного максимума горных территорий в условиях современного климата. Проблема рассматривается на примере Большого Кавказа - одного из наиболее изученных горных регионов России. Накопленные к настоящему времени сведения о снежных лавинах Большого Кавказа позволяют ставить вопрос о выявлении зим наиболее разрушительного и масштабного лавинопроявления в ряду наблюдавшихся зим и определения районов, которые относятся к «эпицентрам» лавинной деятельности. Исходным материалом для написания работы послужили результаты многолетних стационарных и экспедиционных исследований за снежными лавинами на Западном и Центральном Кавказе, материалы сетевых метеорологических станций Росгидромета, литературные источники, опросные данные.

К зимам лавинного максимума (L_{\max}) отнесены сезоны, которые сопровождаются массовым сходом особо крупных лавин и максимальной площадью поражения днища горной долины за исследуемый период. Обрушение лавин в такие зимы сопровождается человеческими жертвами, значительным материальным и экологическим ущербом.

В работе проведена оценка зим L_{\max} по 10-летиям на двух ключевых участках наблюдений в Приэльбрусье (Центральный Кавказ) и Архызе (Западный Кавказ) и выявлена зависимость лавинной деятельности от типов зим. В основу типизации зим положены ведущие климатообразующие параметры - температура воздуха и осадки за холодный период, которые определяют фоновую заснеженность горной территории. Типизация выполнена по материалам 41 ГМС (1936-1988) и 7 ГМС (1990-2016). По результатам анализа всего массива исходных данных и типизации зим установлено, что к зимам лавинного максимума на северном макросклоне Западного и Центрального Кавказа отнесены 1975/76 г., на южном - 1986/87 г., на Восточном Кавказе – 1971/72 г.

Оценка территории наиболее интенсивной лавинной деятельности на Большом Кавказе выполнена на основе бального метода по факторам лавинообразования. Установлено, что в современных климатических условиях к таким районам относится южный склон Центрального Кавказа (Сванетия).

Влияние многолетней мерзлоты на формирование Западно-Сибирского торфяного бассейна Прейс Ю.И.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

В докладе приводятся полученные с 2002 по 2017 гг. данные реконструкции криогенных процессов в детально комплексно исследованных и датированных по ^{14}C и Ams торфяных разрезах лесной зоны Западной Сибири, обосновывающие ранее выдвинутую нами гипотезу о многолетней мерзлоте как одном из основных факторов глобальной заболоченности и заторфованности Западно-Сибирской равнины. Согласно полученным данным, площадному заболачиванию обширных территорий в начале голоцена способствовало повышение их обводненности в результате деградации многолетней мерзлоты, сформировавшейся в периоды возврата холодов около 9200 и 8200 лет назад (л. н.). Формирование многолетнемерзлых водоупоров в торфяных отложениях около 8200 л.н. вызвало катастрофическую олиготрофизацию обширных площадей болот, что привело в последствии к отложению мощных залежей верховых болот, в которых сосредоточены основные запасы торфяных ресурсов Западной Сибири. Криогенные процессы, но уже очагового характера, были широко распространены в лесной зоне и во все последующие глобальные похолодания голоцена около 7200, 4500, 3000, 2100, 1200, 560 л.н. Влияние их было многообразно. Торфонакопление активизировалось при криогенной олиготрофизации болот или временно прекращалось при пучении крупных бугров, но всегда при деградации мерзлоты активизировалось олиго- и мезотрофное заболачивание повышений мезо- и микрорельефа территории, под влиянием надмерзлотной верховодки, и эвтрофное – понижений, из-за скопления талых вод. В результате активного выброса вод из очагов деградирующей мерзлоты повышался общий уровень болотных вод и скорость накопления торфа, особенно на дренированных участках, значительно возрастала, а подтопление окружающих суходолов вызывало их прогрессивное аллохтонное заболачивание.

Таким образом, возникновению крупнейшего в мире Западно-Сибирского торфяного бассейна в значительной мере способствовали многократно происходившие в голоцене процессы агградации и деградации многолетней мерзлоты в минеральных грунтах и торфяных отложениях, а также значительная расчлененность территории на элементы мезо- и микрорельефа криогенными процессами плейстоцена и раннего голоцена.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-05-00860-а.

Оценка состояния субаквальной мерзлоты восточного сектора Арктики на основе численного моделирования

Малахова В.В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,

Новосибирск

malax@sscc.ru

Субаквальная мерзлота шельфа Арктических морей представляет собой реликтовые континентальные мерзлые породы, которые формировались десятки-сотни тысяч лет назад в периоды оледенений и отступления моря. Существование многолетнемерзлых пород (ММП) в донных отложениях мелководных шельфов Арктики создает условия для формирования газогидратных залежей при небольших водных глубинах. Под влиянием относительно теплых и солёных морских вод мерзлые толщи медленно разрушаются, что может приводить к нарушению термобарических условий устойчивого существования газовых гидратов метана. В связи с возможным промышленным освоением шельфа наличие многолетнемерзлых пород и газовых гидратов в донных отложениях является причиной возможных инженерных рисков.

Для изучения состояния ММП шельфа широко используется математическое моделирование. Используемые в настоящее время численные модели значительно различаются в исходных предположениях, в выбранных схемах развития палеогеографических событий и используемых представлениях о гидрогеологических особенностях шельфа, давая разные оценки мощности подводной мерзлоты. Проведенные ранее исследования показали, что мощность многолетнемерзлого слоя моря Лаптевых сильно зависит от интенсивности потока тепла из земных недр. Особенностью данного исследования является математическое моделирование состояния ММП морей восточной Арктики и зоны стабильности гидратов метана с учетом данных интенсивности теплового потока для всей области шельфа.

Моделирование динамики мерзлых пород шельфа проводилось с помощью математической модели, которая описывает перераспределение тепла в системе атмосфера - океан - донные отложения, дополненной уравнением диффузии соли. Для исследования динамики мерзлоты и определения ее мощности на современном этапе времени использовался палеогеографический сценарий, учитывающий изменения уровня океана и формирование мерзлых толщ на протяжении 400 тысяч лет. Согласно проведенным расчетам толщина современных ММП на шельфе морей восточной Арктики зависит от глубины моря, геотермического потока, засоления донных отложений и составляет от 20 до 600 м. Полученная мощность мерзлоты уменьшается с увеличением расстояния от берега. Большие значения потоков тепла в областях рифтов и на внешнем шельфе приводят к более сильной деградации подводной мерзлоты. Положение верхней границы мерзлоты в донных отложениях зависит от глубины моря и содержания солей. В численном эксперименте получено, что верхняя граница ММП расположена на глубине 12 - 27 м ниже морского дна в зависимости от области шельфа.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №17-05-00396.

Строение полигонально-жильного льда торфяника хасырея Пур-Тазовского междуречья

Тихонравова Я.В.^{1,2}, Слагода Е.А.^{1,2,3}

¹Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия;

²Тюменский государственный университет Россия;

³Тюменский индустриальный университет, Россия

tikh-jana@yandex.ru

В хасырея Пур-Тазовского междуречья в расчистке торфяника был вскрыт полигонально-жильный лёд (ПЖЛ), размером 2,0 м в ширину, >4,8 м в высоту, с плечиками, каймой и термокарстово-полостным льдом в кровле; по бокам с шпирями льда, мощностью до 10 см. Из разных частей жилы были отобраны монолиты льда: из центральной части жилы, в «плечике», в кровле с ростком и термокарстово-полостным льдом, образец шпиря льда. Монолиты были изучены в проходящем и поляризованном свете.

Лёд центральной части жилы с вертикально-полосчатой текстурой, сформированной элементарными жилками и воздушными включениями, ориентированными, в основном, вертикально; с незначительными примесями растительных остатков. Микроморфологические признаки образца характерны для ПЖЛ.

Монолит льда из «плеча» жилы, в основном, с вертикально-полосчатой текстурой, отмечены также диагонально ориентированные воздушные включения. В поляризованном свете выделены элементарные жилки льда и крупные кристаллы, пересеченные элементарными жилками. Микроморфологические признаки образца характерны для ПЖЛ. Крупный кристаллы, пересеченные элементарными жилками указывают на подтаивание жилы в зоне контакта с вмещающим торфом и продолжение морозобойного растрескивания в «плечевой» части жилы.

Монолит льда в ростке жилы, в основном, с вертикально-полосчатой текстурой. В поляризованном свете отмечены разнонаправленные элементарные жилки льда, что характерно для ростка ПЖЛ. По бокам к ростку причленён сегрегационный лёд, сверху перекрывает небольшое образование термокарстово-полостного льда.

Монолит термокарстово-полостного льда с радиально-лучистой текстурой и рассеянными мелкими растительными остатками; количество воздушных включений меньше, чем у ПЖЛ. В поляризованном свете отмечены крупные кристаллы льда, характерные для термокарстово-полостного льда.

Монолит шпиря льда с радиально-лучистой текстурой и незначительным количеством воздушных включений. В поляризованном свете отмечены крупные кристаллы. Микроморфологические признаки образца характерны для подводного льда.

В строении ПЖЛ отмечены генетические типы льда – элементарные жилки, сегрегационный лёд, термокарстово-полостной лёд и подводный лёд. Выявлено, что образование изученной жилы сопровождалось подтаиванием как в боковых контактных частях, так и в кровле, с последующим образованием термокарстово-полостного льда. Образование шпиря льда связано с постепенным промерзанием скопившегося объёма воды («лужи») в надмерзлотном слое. Гетерогенное строение ПЖЛ обусловлено изменением условий в период его развития.

Авторский указатель

<i>Автор</i>	<i>страницы</i>	<i>Автор</i>	<i>страницы</i>
Агбалян Е.В.	97	Глебова А.Б.	79
Алешина М.А.	62	Голобокова Л.П.	100
Ананичева М.Д.	66	Головин Н.В.	41
Андреев О.М.	50, 51	Голубева Е.Н.	93
Анисимов О.А.	18, 37	Гораявчева А.А.	103, 104
Афанасьева В.К.	17	Горячкин С.В.	47
Афонин А.С.	48	Гребенец В.И.	20, 24, 27
Бабкина Е.А.	43, 44, 45	Гребенников П.А.	92
Бабкин Е.М.	43, 44, 45	Гребенников П.Б.	68
Бадина С.В.	39	Григорьев М.Н.	32
Баженова Е.А.	16	Григорьева С.Д.	19, 29
Банцев Д.В.	78, 84, 105	Гудошников Ю.П.	41
Башалханова Л.Б.	38	Дворников Ю.А.	43, 44, 45
Башкова Е.И.	82	Долгих А.В.	47
Белолуцкая М.А.	18, 37	Драбенко Д.В.	50
Богородский П.В.	14	Дроздов Д.С.	30, 35
Большакова И.И.	14	Дубровин В.А.	35
Большиянов Д.Ю.	13, 57	Дьякова Г.С.	74, 103, 104
Боронина А.С.	19, 23, 29	Дюкарев Е.А.	87
Бузин И.В.	41	Егоров А.Б.	81
Бурым Р.Д.	74	Екайкин А.А.	84, 98
Васильев А.А.	21, 30	Ефимов С.В.	94
Виноградов Р.А.	50, 51	Ёжиков И.С.	57
Владимирова М.Ю.	92	Железняк М.Н.	76
Волков А.В.	107	Жильцова Е.Л.	37
Волков И.В.	78, 105	Жукова О.Л.	14
Володичева Н.А.	106, 109	Зазовская Э.П.	47
Воропай Н.Н.	34	Замарин Г.А.	41
Гаврилов А.В.	15, 33	Зотова Л.И.	42
Ганюшкин Д.А.	78, 79, 84, 105	Иванов М.Н.	59
Георгиади А.Г.	53	Ильин Г.В.	40
Глазовская Т.Г.	108	Ильющенкова И.А.	57
Глазовский А.Ф.	11, 56, 58	Качалин А.Б.	69

Кашкевич В.И.	29	Лоскутова М.А.	14
Кашкевич М.П. (Kashkevich M.P.)	23, 29, 55	Лякушин И.Д.	100
Кашутина Е.А.	53	Мавлюдов Б.Р.	70, 85
Керимов А.М.	67	Макаров А.С.	13
Кизяков А.И.	15, 43	Макеев Е.А.	87
Кириллова А. (Kirillova A.)	83, 95	Максимов Г.Т.	32
Киселев М.В.	34	Максютова Е.В.	38
Клагес Й.Ф.	17	Макштас А.П.	14
Клим Д.О.	46	Малахова В.В.	111
Ковалев М.В.	74	Малкова Г.В.	30, 31
Когутенко Л.В.	81	Мальгина Н.С. (Malygina N.)	90, 97, 99, 101
Козачек А.В.	98	Маневич Т.М.	71
Кокарев А.Л.	81	Марченко Е.С.	71, 86
Кокин О.В. (Kokin O.)	83, 95	Махотина И.А.	14
Комаров А.Ю.	61, 68, 86, 92, 96	Мачерет Ю.Я.	58
Коновалов В.Г.	63	Мергелов Н.С.	47
Коростелев Ю.В.	31	Милановский Е.Ю.	47
Котляков В.М.	11, 69	Милюкова И.П.	53
Кравцова В.И.	15	Митрофанова Е.Ю.	90
Кубышкин Н.В.	41	Москалевский М.Ю.	11
Кудиков А.В.	61	Муллануров Д.Р.	43, 45
Кузнецова А.О.	48	Муравьев А.Я.	58, 59, 60, 69, 73, 77
Кун Г.	17	Муравьев Я.Д.	71
Кунаева Е.П.	78	Нарушко М.В.	48
Кураков С.А.	87	Немировская И.А.	89
Курятникова Н.А.	90	Нечелюстов С.Г.	61
Кустов В.Ю.	14	Никитин С.А.	59, 60
Лаврентьев И.И.	58	Николаев Р.В.	107
Лазарев А.В.	86	Носенко Г.А.	59, 60
Ландэ А.	98	Облогов Г.Е.	21, 30
Ларченко А.В.	75	Олейников А.Д.	106, 109
Лейбман М.О.	43, 45	Оленченко В.В.	104
Лейченков Г.Л.	16, 17	Опокина О.Л.	36
Липенков В.Я.	91	Орлова Е.Ю.	51

Осипов Э.Ю.	80	Слагода Е.А.	36, 48, 112
Осипова О.П.	80	Соколов В.Т.	49, 57
Осокин Н.И.	88, 102	Сократов С.А.	61, 68, 92, 96, 108
Останин О.В.	74, 103, 104	Сосновский А.В.	88, 102
Отгонбаяр Дэмбэрэл	74	Стеен-Ларсен Х.К.	98
Папина Т.С. (Papina T.)	97, 99, 101	Стрелецкая И.Д.	21, 30
Парамзин А.С.	57	Судакова М.С.	31
Пижанкова Е.И.	15, 33	Сучилин А.А.	61, 92
Пикалёва А.А.	94	Суханова А.А. (Sukhanova A.A.)	19, 23, 29, 55
Пильгаев С.В.	75	Сысолятин Р.Г.	76
Платов Г.А.	93	Тихонравова Я.В.	48, 112
Пономарева О.Е.	25, 30	Токарев И.В.	84
Попов Г.В.	22	Толманов В.А.	20, 24
Попов С.В. (Porov S.V.)	19, 23, 29, 55	Торопов П.А.	62
Попова В.В.	60	Тумель Н.В.	42
Прейс Ю.И.	110	Турчанинова А.С.	61, 68, 86, 92, 108
Пряхина Г.В.	19, 23, 29	Тюфлин А.С.	69
Ревич Б.А.	18	Устинова Е.В.	25
Родионова П.М.	108	Усягина И.С.	40
Роготаева О.В.	67	Фатеев Н.Н.	100
Рудаков В.А.	63	Федоренко Ю.В.	75, 107
Садуртдинов М.Р.	31	Фёдоров Г.Б.	57
Северский И.В.	81	Филатов М.В.	75
Седухин П.В.	22	Фильчук К.В.	49
Селиверстов Ю.Г.	61, 68, 86, 92, 96, 108	Фролов И.Е.	12
Семенов В.А.	62	Хайруллин Р.Р.	43, 44
Сергеев И.С.	79	Харитонов В.В.	23
Серигов С.И.	76	Харьковец Е.Г.	61
Сидорова О.Р.	100	Хилленбранд К.-Д.	17
Симонова Г.В.	48	Хомутов А.В.	43, 44, 45
Синицкий А.И.	59	Хромова Т.Е.	60, 69
Скворцов А.Г.	31	Царев А.М.	31
Скутин А.А.	41	Черкашина А.А.	34

Чернов Р.А.	77	Эйрих А.Н. (Eirikh A.)	97, 99, 101
Чернова Л.П.	69	Экба Я.А.	70
Черноус П.А.	75, 107	Энтин А.Л.	92
Чистяков В.К.	52	Юров Ф.Д.	27
Чистяков К.В.	78, 84	Barlyaeva T.	101
Чихачев К.Б.	91	Eberlein L.	55
Шейкин И.Б.	49	Evangelista H.	61
Шестакова А.А.	62	Frolov D.	95
Шестерова И.Н.	81	O. Mustafa O.	61
Шикломанов А.И.	54	Pryakhin S.S.	55
Шишков В.А.	47	Scheinert M.	55
Школьник И.М.	94	Sinitsyn A.	95
Шполянская Н.А.	28	Urbini S.	55
Штыкова Н.Б.	79	Zirizzotti A.	55