

топографических и инженерных методов изучения грунтов в мерзлом и талом состоянии.

В ходе прохождения инженерно-геокриологической практики студентами были выполнены следующие задачи:

- Построена карта геокриологических процессов
- Построена карта ландшафтного микрорайонирования
- Оценена мощность сезонно талых пород в пределах изучаемых участков, при помощи геофизических методов (ЗСБ, георадар), бурения и зондирования.
- Изучены теплофизические свойства СТС и ММП.
- Проведена высокоточная DGPS съемка
- Проведено моделирование и построен прогноз температурно-фазовых полей в пределах изучаемых объектов
- Впервые в России было проведено изучение прочностных свойств и температуры мерзлых пород с применением статического зондирования с железнодорожной платформы в полотне железной дороги, в пределах распространения многолетнемерзлых пород.

Литература

1. Балобаев В.Т., Девяткин В.Н., Кутасов И.М. Современные геотермические условия существования и развития многолетнемерзлых пород // II Междунар. конф. по мерзлотоведению. Докл. и сообщения. Вып. 1. Теплофизические процессы формирования и развития криолитозоны. Якутск, 1973. С. 11–19.
2. Основы геокриологии. Ч. 5. Инженерная геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. 526 с.
3. Полевые методы геокриологических исследований. Методическое руководство по учебной практике студентов геологического факультета МГУ / Под ред. Э.Д. Ершова, Г.И. Гордеевой. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 143 с.
4. СП 25.13330.2012. «Основания и фундаменты на вечноммерзлых грунтах» Приложение Л. «Определение механических свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования». М.: НИИОСП им. Н.М. Герсевича, институт ОАО «НИЦ «Строительство», 2012.
5. Инженерная геология России. Т. 1. Грунты России / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М.: КДУ, 2011. 672 с.

ДЕНЬ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ: НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ В ПОЛЕВЫХ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В РАМКАХ ПРАКТИКИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ 4 КУРСА ИНЖЕНЕРНОГО ПОТОКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА В ЯНВАРЕ 2015 Г.

В.С.Исаев¹, А.И.Тюрин¹, Д.О.Сергеев², Е.И.Горшков¹, Н.Г.Волков³, С.М. Стефанов⁴

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геокриологии; *e-mail: tpomed@rambler.ru; tjurin_alex@mail.ru; e.i.gorshkov@yandex.ru*

² Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, *e-mail: sergeevdo@mail.ru*

³ ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС», *e-mail: ngv@fugro.ru*

⁴ ООО «Солид», *e-mail: solidair2005@gmail.com*

Рассмотрены современные инновационные полевые методы геокриологических исследований, опробованные в рамках Дня науки и инноваций на Звенигородской геокриологической учебно-научной практике.

SCIENCE AND INNOVATION DAY: NEW METHODS AND WAYS IN FIELD GEOCRYOLOGICAL RESEARCHES DURING THE FIELD GEOCRYOLOGICAL PRACTICE FOR 4-TH COURSE STUDENTS OF ENGINEERING BRANCH OF GEOLOGICAL DEPARTMENT OF M.V.LOMONOSOV MSU IN JANUARY 2015.

V.S.Isaev¹, A.I. Tuirin¹, D.O. Sergeev², E.I. Gorshkov¹, N.G.Volkov³, S.M. Stefanov⁴

¹ Lomonosov Moscow state university. geological faculty, geocryology department;
e-mail: tpomed@rambler.ru; tjurin_alex@mail.ru; e.i.gorshkov@yandex.ru

² E.M. Sergeev Institute of geoecology, RAS, *e-mail: sergeevdo@mail.ru*

³ JSC «Geoengservice», *e-mail: ngv@fugro.ru*

⁴ JSC «Solid», *e-mail: solidair2005@gmail.com*

Presentation of modern innovation field methods of geocryological research, which were testing during «The day of science and innovation» at the geocryological field practice in Zvenigorod biological base of Moscow state university.

Введение. Площадь распространения многолетнемерзлых пород составляет около 65% территории современной России [1]. Мощность криолитозоны достигает сотен метров в полярных регионах нашей страны и тысяч метров в наиболее высокогорных областях Евразии.

На базе фундаментальных исследований сотрудники кафедры геокриологии в последние годы активно разрабатывают ряд научных тем прикладного характера: управление надежностью геотехнических систем в криолитозоне, взаимодействие органических загрязнителей с промерзающими и мерзлыми грунтами, создание защитных барьеров при подземном захоронении радиоактивных и токсичных отходов с использованием естественного и искусственного холода [2].

В связи с принятием в России всеобъемлющей программы освоения северных территорий (мега-проект «Ямал», строительство Ямал-СПГ, прокладка «Северного широтного хода», реконструкция и переоснащение северных аэродромов и т.д.), все больший интерес вызывает изучение полярных и приполярных областей нашей страны с точки зрения инженерно-геологической оценки этих территорий для ведущегося и планируемого строительства. Изменившиеся требования к инженерно-геологическим изысканиям (в частности, сжатые сроки при огромной территории исследования), а также необходимость организации мониторинга состояния мерзлых грунтов в реальном времени и *in situ* диктуют необходимость внедрения инновационных высокоэффективных технологий, дополняющих классические методики исследования криолитозоны.

Для решения указанных задач в криолитозоне на современном уровне необходим комплексный инженерно-геокриологический подход, основы которого традиционно преподавали в рамках Звенигородской учебно-научной практики для студентов 3-го курса инженерного потока геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Полевые методы геокриологических исследований» [3]. Блок прикладных задач включал изучение криогенного строения мерзлых пород и льда (преподаватель Е.М. Чувилін) и процессов пучения (преподаватели И.А. Комаров, В.С. Исаев), а также геофизические методы исследования сезонно-мерзлого слоя (преподаватель А.В. Кошурников).

В рамках преподавания метода геокриологического мониторинга изучали снежный покров и снегомерную съемку (преподаватель С.Н. Булдович) и определяли глубину сезонного промерзания с помощью различных методик (преподаватель В.Е. Тумской).

Для отражения новых требований к геокриологическим изысканиям в 2015 г. программа практики была существенно расширена проведением «Дня науки и инноваций». Главной целью мероприятия было знакомство и обучение студентов передовым методам полевых исследований в области мерзлотной аэрофото- и видеосъемки, новым приемам при применении традиционного метода статического зондирования грунтов в приложении к мерзлым грунтам. В проведении «Дня науки и инноваций» приняли участие представители ведущих производственных организаций и научных центров в области аэрофотосъемки и исследования свойств мерзлых грунтов, сотрудники с разных кафедр геологического факультета и все желающие познакомиться с современными достижениями в этой области.

Геокриологическое картирование с помощью беспилотных летательных аппаратов. Для решения геокриологических задач — ландшафтного микрорайонирования, идентификации криогенных явлений, оценочных измерений характерных неоднородностей рельефа, снегонакопления и др. — традиционно используются методы наземной съемки. Однако в силу труднодоступности и непроходимости многих районов исследований предпочтение отдается дешифрированию аэро- фотоснимков. Вместе с тем мелкое разрешение не позволяет дешифровать проявления криогенных процессов и выделять опорные участки ландшафтного микрорайонирования. Степень детальности аэрофотовидеосъемки зависит от задач. Универсальных аппаратов для решения всего комплекса проблем нет, существует альтернатива: либо высокая детализация съемки, но на небольшой территории со сравнительно недорогим оборудованием и невысокими трудозатратами, либо большее покрытие территории, но при помощи более дорогостоящего оборудования и программного обеспечения, требующего высококвалифицированного персонала, а следовательно, увеличение стоимости обработки полученного материала. При решении локальных задач ландшафтного микрорайонирования наиболее востребованы квадрокоптеры небольшого размера с небольшим радиусом покрытия территории. В рамках «Дня науки и инноваций» представитель Института геоэкологии РАН, руководитель проекта Д.О. Сергеев представил программу «Оценка микроландшафтной неоднородности с применением аэро-, фото- и видеосъемки с малых летательных аппаратов» (рис. 1). Применение квадрокоптеров позволяет осуществлять с высоты 50–100 м повторяющуюся съемку полосы землеотвода протяженных линейных инженерных объектов (автодороги, железные дороги, трубопроводы) с целью получения топографически привязанных визуальных изображений и аэрофотоснимков в видимом и инфракрасном диапазонах. Эти данные позволяют выполнить ландшафтное микрорайонирование и идентификацию геокриологических явлений и экзогенных геологических процессов (оползни, сели, обвалы, лавины, камнепады и др.).

Цели этой программы не ограничивались получением первичных навыков управления малым летательным радиоуправляемым аппаратом в условиях прямой видимости. Участники получили навыки по планированию и выполнению перспективной аэро-, фото- и видеосъемки (рис. 1, а), а также по обработке ее результатов для решения геокриологических задач (обеспечение ландшафтного микрорайонирования, идентификация криогенных явлений, оценочные измерения характерных неоднородностей рельефа, снегонакопления и т.п., влияющих на условия теплообмена).

Принципиально другую модель организации геокриологического картографирования предложил представитель ООО «Солид» С.М. Стефанов.

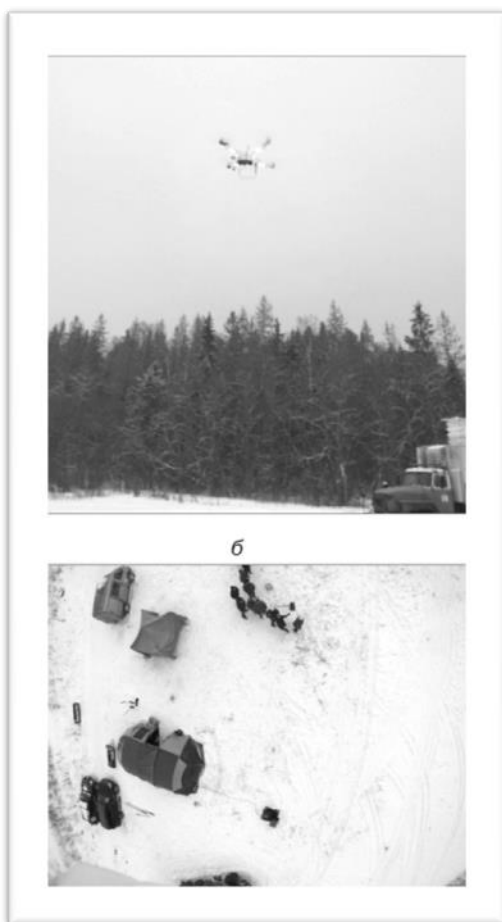


Рис. 1. Взлет квадрокоптера (а) и снимок поверхности с помощью фотокамеры квадрокоптера (б)

Представленный им аэроподъемный комплекс (АПК) — летательный аппарат, использующий энергию ветра для подъема и транспортировки грузов. Его отличают высокая надежность, низкая стоимость, дистанционное управление, небольшие эксплуатационные расходы в расчете на один час летного времени. Области применения АПК для решения геоэкологических и геокриологических задач в значительной степени отличаются от таковых, решаемых в геокриологии при помощи квадрокоптеров. АПК позволяет выполнять длительный непрерывный разновысотный мониторинг на площадках для выявления закономерностей протекания геоэкологических процессов, а также проводить визуальные наблюдения на разной высоте с целью изучения геологических неоднородностей с разной степенью

детальности, оценивать фоновые геофизические (электромагнитные, температурные, радиационные) поля, изучать прозрачность атмосферы на малой высоте с применением лидарной съемки, выполнять рекогносцировочное геокриологическое и инженерно-геологическое картирование береговой полосы арктических и южных морей, а также исследовать процесс переработки берегов равнинных рек.

Сотрудник кафедры геокриологии геологического факультета МГУ имени Ломоносова Е.И. Горшков совместно с выпускником МИИГА и К К.Г. Шермазяном представили беспилотный летательный аппарат (БЛА) «GATEWING X100» (рис. 2, а, 2, в), с возможностью программной обработки данных, полученных в ходе аэрофотосъемки данных в виде трехмерных моделей местности.

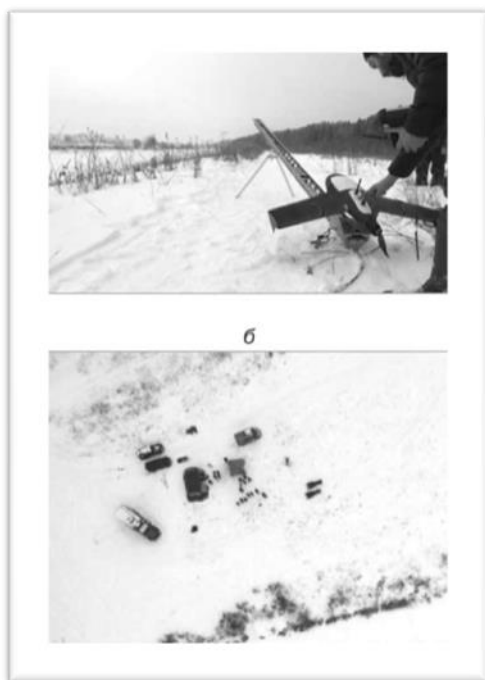


Рис. 2. Запуск беспилотного летательного аппарата «GATEWING X100» (а) и снимок поверхности с помощью фотокамеры беспилотного летательного аппарата «GATEWING X100» (б)

Основные преимущества этого БЛА

закljučаются в возможности просто и быстро подготовить беспилотный летательный аппарат к выполнению площадной аэрофотосъемки, благодаря прилагаемому программному обеспечению провести автоматизированную обработку цифровых снимков и получить конечный продукт, готовый для импорта в стандартные геологические информационные системы (ГИС) и системы автоматизированного проектирования (computer-aided design, CAD), программные продукты. Кроме того, получаемый материал характеризуется высокой точностью картографирования (дециметровой или выше) площадью до 20 км² и высокой плотностью сетки (1 м и гуще). Благодаря высокой частоте сканирования происходит многократное перекрытие снимками дешифрируемой местности, что позволяет получить наиболее полную информацию о поверхности и объектах на ней. Высокая скорость обработки материала (несколько дней, возможно, несколько часов) при низкой стоимости, которая равна или меньше, чем при создании грубой цифровой модели местности с помощью традиционной наземной съемки того же участка, делает эту технологию наиболее привлекательной при решении прикладных геокриологических задач.

Инновационная технология комплексного мерзлотного зондирования (КМЗ), позволяющая анализировать механические, физические свойства образцов пород в талом и мерзлом состоянии *in situ*, была представлена компанией «Фугро». Комплексное мерзлотное зондирование — полевой метод исследования пластично-мерзлых грунтов, который дополняет и частично заменяет инженерно-геологическое бурение, выступает в виде связующего звена между инженерно-геологическим бурением, лабораторными испытаниями и геофизическими исследованиями, определяет температурный профиль с любым заданным шагом по глубине. КМЗ осуществляется согласно основным строительным нормативам [4].

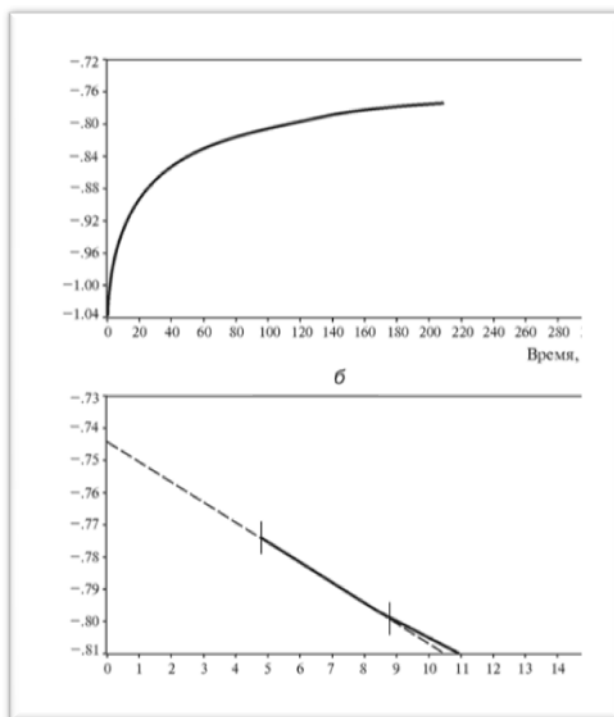


Рис. 3. Пример обработки температурного замера установкой КМЗ («Фугро»): *а* — фактические данные, *б* — линия тренда (экстраполяция)

Практическое использование результатов КМЗ в геокриологии заключается в определении основных характеристик мерзлого грунта, таких, как лобовое сопротивление и боковое трение, позволяющих провести расчет/оценку механических характеристик мерзлых грунтов в соответствии с нормативами [СП, 2012], — модуль деформации E_f (МПа) и эквивалентное сцепление c_{eq} (кПа), расчет несущей

способности свай в соответствии с нормативами [СП, 2012], выделение инженерно-геологических элементов. Объект исследования этим методом — пластично-мерзлые грунты [5], которые широко распространены в зоне прибрежной мерзлоты из-за повышенной засоленности, в зоне техногенного

теплового воздействия на вечную мерзлоту, около таликовых мерзлых грунтовых массивах. Несмотря на то что твердомерзлые грунты и пластовые льды не являются предметом исследования для КМЗ, в то же время они не представляют непреодолимого препятствия для пенетрации зонда, а, следовательно, можно получать информацию о механических и физических свойствах этих грунтов. Кроме того, есть возможность дополнить информацию о массиве грунта данными об электрическом сопротивлении, при этом создается непрерывный профиль электрического сопротивления мерзлых грунтов благодаря установленному оборудованию (диполь, установка Веннера). КМЗ позволяет также получать информацию о засоленности мерзлых грунтов по разрезу с выделением криопэггов и определять границу талый–мерзлый грунт. С помощью КМЗ можно определять содержание метана и определять границы между свободным газом (газовые карманы) и газом, защемленным во льду. Таким образом, применение КМЗ для мерзлых грунтов позволяет значительно расширить спектр применяемых полевых геофизиологических методов исследования и решить вопрос интенсификации получения данных о механических свойствах грунтов и температуре в массиве мерзлых пород. С помощью зонда КМЗ можно получить непрерывный температурный профиль в течение дня при прямом измерении температуры грунта, т.е. решаются задачи температурного мониторинга, включающие установку термометрической скважины в течение одного дня без нарушения термического режима и последующий дистанционный сбор данных температурного мониторинга (рис. 3). Метод имеет важное прикладное значение — позволяет проверять работу систем термостабилизации грунтов, когда осуществляется прямой замер температуры в непосредственной близости к термостабилизатору и сравнивать с фоновой температурой вне зоны воздействия термостабилизатора, оценивать механические свойства мерзлого грунта, охлажденного термостабилизатором, что позволяет определять несущую способность сваи, расположенной в зоне воздействия термостабилизатора.

Заключение. Современные технологии, опробованные на «Дне науки и инноваций», существенно дополнили традиционные полевые методы геофизиологических исследований. Благодаря применению беспилотных аппаратов аэро-, фото- и видеосъемки поверхности можно решать комплекс задач:

1) существенно интенсифицировать получение первичных данных для дешифрирования криогенных процессов, мерзлотного микрорайонирования и выявления площадей, находящихся при строительстве в зонах риска благодаря заполнению ниши между маршрутными полевыми съемочными исследования и космической съемкой; Кроме того, этот метод применим в местах, недоступных для маршрутных исследований, особенно при наличии водных преград и заболоченных территорий;

2) верифицировать данные, полученные в результате комплексного мерзлотного зондирования, многолетними данными температурного мониторинга. В стационарных скважинах на территории Звенигородской биостанции показано полное соответствие температурных данных, полученных разными методами. Сопоставление результатов полевых съемочных исследований с применением беспилотных летательных аппаратов с данными маршрутных исследований позволило уточнить карту ландшафтного микрорайонирования района практики. Аэро- и фотоматериалы положены в основу многолетнего мониторинга геоморфологической обстановки в районе Звенигородской практики.

Литература

1. Балобаев В.Т., Девяткин В.Н., Кутасов И.М. Современные геотермические условия

- существования и развития многолетнемерзлых пород // II Междунар. конф. по мерзлотоведению. Докл. и сообщения. Вып. 1. Теплофизические процессы формирования и развития криолитозоны. Якутск, 1973. С. 11–19.
2. Основы геокриологии. Ч. 5. Инженерная геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. 526 с.
 3. Полевые методы геокриологических исследований. Методическое руководство по учебной практике студентов геологического факультета МГУ / Под ред. Э.Д. Ершова, Г.И. Гордеевой. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 143 с.
 4. СП 25.13330.2012. «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» Приложение Л. «Определение механических свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования». М.: НИИОСП им. Н.М. Герсевича, институтом ОАО «НИЦ “Строительство”», 2012.
 5. Инженерная геология России. Т. 1. Грунты России / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М.: КДУ, 2011. 672 с.

ОБ ЭВОЛЮЦИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ХОЛОДЕ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

В.С. Шейнкман, В.П. Мельников

Тюменский научный центр СО РАН, Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень; Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень; Тюменский государственный университет, Тюмень; Россия; vlad.sheinkman@mail.ru

В статье авторы, анализируя явления холодного мира, предлагают обсудить вопросы его восприятия, накопившиеся проблемы терминологии и постановку задач в плане изучения криоразнообразия на нашей планете. Вопросы, отражающие проявления криоразнообразия рассматриваются в развитие идей, освещенных в работах [8, 18]. Кроме того, в статье разбираются вопросы о целесообразности объединения объектов холодного мира Земли в рамках криогенных систем различного типа и ранга, и предлагается новая схема их соподчиненности.

IN RESPECT TO EVOLUTION OF KNOWLEDGE IN EARTH'S SCIENCES

V.S. Sheinkman, V.P. Melnikov

Earth Cryosphere Institute, SB RAS, Tyumen; Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen; Tyumen State University, Tyumen; Russia; vlad.sheinkman@mail.ru

In this paper the present authors have analyzed phenomena of the cold world, and propose to discuss the problems of its perception, and also terminological questions which have been stored, as well as the raising tasks in respect to studying manifestations of cryodiversity at our planet. The questions reflecting cryodiversity are considered on the subject of developing the ideas elucidated in the works [8, 18]. Besides, in the paper the problems of uniting the objects of the Earth's cold world in frames of cryogenic geosystems of different types and ranks have been investigated, and a new scheme of their hierarchy has been presented.

Введение. Понять явления холодного мира Земли – важная научная задача. При ее решении возникают вопросы как прикладного, так и общенаучного плана. Первые встают чаще: с ними связана повседневная жизнь. Но назрели и общеметодологические решения – о холодном мире собрано много данных, и на прежней методологической базе работа с ними часто не позволяет выходить на новые концептуальные позиции и разрешать накопленные противоречия. Парадоксально, но не имеет ясного образа само понятие “холод” – исследователи все еще не условились о его дефиниции. Это