

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ В ПОЛЕВЫХ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В РАМКАХ ДНЯ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ

Современными методами полевых исследований в области мерзлотной аэрофото- и видеосъемки, новые приемы при применении традиционного метода статического зондирования грунтов всё шире внедряются в практику исследования мерзлых грунтов. Геокриологическое картирование с помощью беспилотных летательных аппаратов для решения геокриологических задач – ландшафтного микрорайонирования, идентификации криогенных явлений, оценочных измерений характерных неоднородностей рельефа, снегонакопления и др. Относительно новое направление. Традиционно используются методы наземной съемки. Однако в силу труднодоступности и непроходимости многих районов исследований предпочтение отдается дешифрированию аэрофотоснимков. Вместе с тем мелкое разрешение не позволяет дешифрировать 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 доступны квадрокоптеры небольшого размера с небольшим радиусом покрытия территории (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.



a)





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

Эти данные позволяют выполнить ландшафтное микрорайонирование и идентификацию геокриологических явлений и экзогенных геологических процессов (оползни, сели, обвалы, лавины, камнепады и др.). Для овладения этой методикой необходимо получение первичных навыков управления малым летательным радиоуправляемым аппаратом в условиях прямой видимости, приобретение навыков 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).

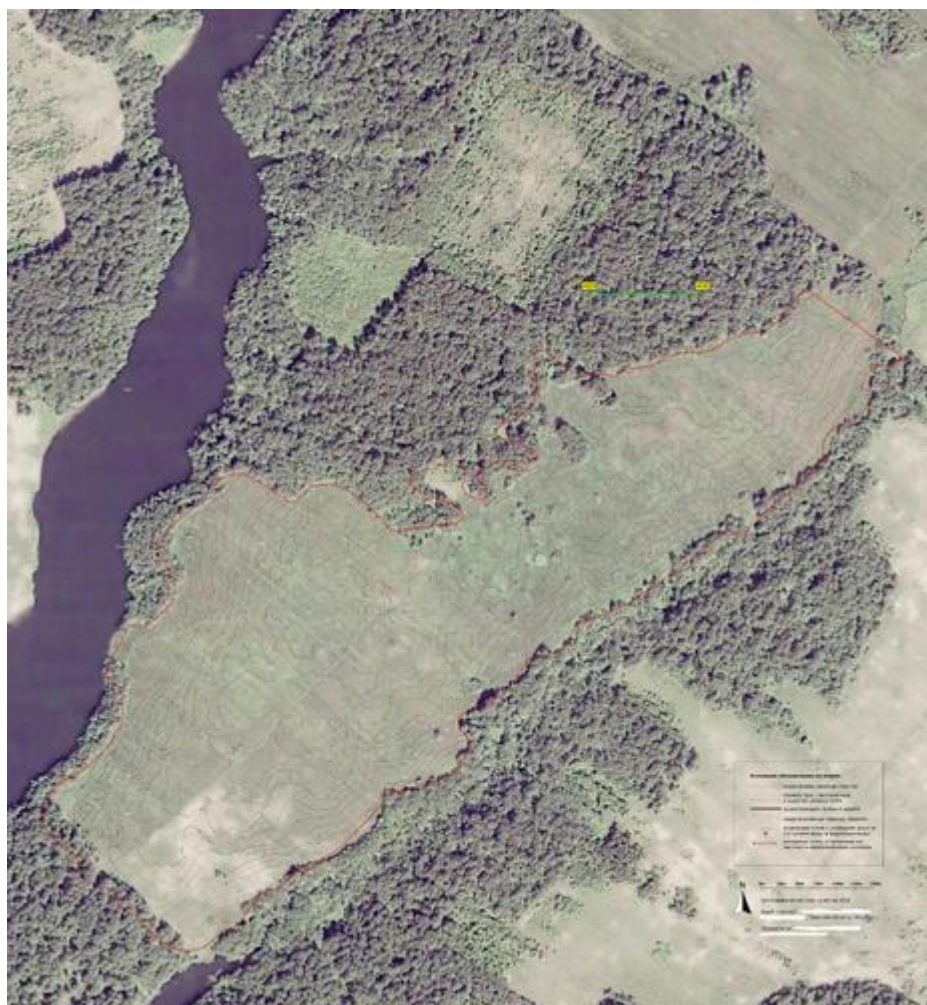


Рис. 2. Снимок с квадрокоптера

Принципиально другую модель организации геокриологического картографирования представляют БПЛА, использующий энергию ветра для подъема и транспортировки грузов. Их отличают высокая надежность, низкая стоимость, дистанционное управление, небольшие эксплуатационные расходы в расчете на один час летного времени. Области применения БПЛА для решения геоэкологических и геокриологических задач в значительной степени отличаются от таковых, решаемых в геокриологии при помощи квадрокоптеров. БПЛА 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, а также исследовать процесс переработки берегов равнинных рек. Результаты, полученные с БПЛА в ходе аэрофотосъемки, можно обрабатывать в соответствующих программах для получения трехмерных моделей местности. Основные преимущества этого метода заключаются 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, 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 [СП, 2012]. 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 [Инженерная..., 2011], 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 геокриологических 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. 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.

Современные технологии, опробованные существенно дополняют традиционные полевые методы геокриологических 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. Сопоставление результатов полевых съемочных исследований с применением беспилотных летательных аппаратов с данными маршрутных исследований позволяет уточнить карту ландшафтного микрорайонирования района. Аэро- и фотоматериалы могут быть положены в основу многолетнего мониторинга геоморфологической обстановки в районах распространения ММП.