

М. А. Петухов^{1✉}, Л. Н. Гилёва²

Цифровая карта инженерно-геокриологических условий как основа геотехнического мониторинга в условиях многолетнемерзлых грунтов в криолитозоне Северных территорий Российской Федерации

¹Омский государственный аграрный университет, г. Омск, Российская Федерация
e-mail: vins2002@inbox.ru

Аннотация. Промышленное освоение Крайнего Севера и, в первую очередь, нефтегазоносных районов, сопровождается формированием промышленных, градостроительных, транспортных и других природно-технических геосистем (ПТГ). В большинстве случаев эти геосистемы создаются и функционируют в криолитозоне, занимающей около 65% территории Российской Федерации. В связи с этим, обеспечение эксплуатационной пригодности сооружений, построенных на многолетнемерзлых грунтах (ММГ) и сохранение крайне хрупкой природной среды Севера является важнейшей научной и практической задачей. Решение этой задачи на всех этапах создания ПТГ во многом зависит от полноты и достоверности инженерно-геокриологической информации, полученной в процессе инженерных изысканий и геотехнического мониторинга.

Ключевые слова: криолитозона, природно-технические геосистемы, электронная карта инженерно-геокриологических условий, термометрическая скважина, многолетнемерзлый грунт, геотехнический мониторинг

М. А. Petukhov^{1✉}, L. N. Gileva²

The essence and modern approach to monitoring lands subject to degradation of long-term soils in the design and operation of territorial planning and capital construction facilities

¹Omsk State Agrarian University, Omsk, Russian Federation
e-mail: vins2002@inbox.ru

Abstract. The industrial development of the Far North and, first of all, oil and gas bearing areas is accompanied by the formation of industrial, urban planning, transport and other natural-technical geosystems (NTGs). In most cases, these geosystems are created and operate in the permafrost zone, which occupies about 65% of the territory of the Russian Federation. In this regard, ensuring the operational suitability of structures built on permafrost soils (permafrost) and preserving the extremely fragile natural environment of the North is the most important scientific and practical task. The solution to this problem at all stages of the creation of a PTG largely depends on the completeness and reliability of engineering and geocryological information obtained in the process of engineering surveys and geotechnical monitoring.

Keywords: cryolithozone, natural-technical geosystems, electronic map of engineering-geocryological conditions, thermometric well, permafrost soil, geotechnical monitoring

Введение

Мировая тенденция развития производительных сил все более отчетливо ориентируется на северные территории. Север играет важную роль и в развитии России. Но вместе с тем, Север – это весьма слабо изученные пространства, с наличием уникальных месторождений ценнейших полезных ископаемых. Так же это место обитания коренных малочисленных народов Севера, чей быт, уклад жизни и дальнейшее процветание теснейшим образом связаны с развитием северных территорий. Промышленное освоение районов Сибири и Крайнего Севера – одна из крупнейших народнохозяйственных проблем. На всей громадной территории Сибири, от Урала на западе до побережья Чукотки на востоке, человек, осваивая новые районы, неизбежно сталкивается со своеобразием природных комплексов, вызванных наличием вечной мерзлоты, подземных льдов и различных, неблагоприятных для строительства криогенных процессов [1, 2].

Изменение климата и связанные с этим деградационные процессы многолетнемерзлых грунтов существенно усложнили условия эксплуатации действующих и строительства новых зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения на территориях, расположенных в криолитозоне. Разработка нефтегазоконденсатных месторождений на Севере Западной Сибири и возникающие при этом технологические проблемы, по существу, предопределили практическое развитие основ геотехнического мониторинга, разработанных в геокриологии. Ведомственный уровень геотехнического мониторинга решает задачи по обеспечению безаварийной эксплуатации производственных объектов, однако представляется недостаточным для решения стратегических задач снижения рисков хозяйственного освоения новых осваиваемых областей криолитозоны, по причине недостаточной обеспеченности региональными геокриологическими съемками и мониторинговыми наблюдениями [3].

Решение проблем деградационных процессов многолетнемерзлых грунтов обеспечивается благодаря геотехническому мониторингу в рамках инженерно-геокриологических изысканий.

В задачи инженерно-геокриологических изысканий при строительстве, эксплуатации, реконструкции и ликвидации зданий и сооружений входят: 1) получение материалов и данных о состоянии и изменении отдельных показателей инженерно-геокриологических условий; 2) корректировка результатов геокриологического прогноза на строительный и эксплуатационный период; 3) оценка инженерно-геокриологических условий при ликвидации объекта [4].

Устойчивость промышленных и гражданских сооружений в криолитозоне зависит, главным образом, от того, находится ли температура грунта в пределах диапазона, заложенного при их проектировании или нет.

На территории распространения многолетнемерзлых грунтов, грунты залегающие в слое сезонного оттаивания и промерзания, подвержены процессам пучения и термокарста [5]. Таяние ММГ сопряжено с экологическими рисками, такими, как гибель леса, заболачивание и другие виды деградации земель. Притом, что все перечисленные процессы в криолитозоне определяются комбинацией

многих факторов. Увеличение температуры ММГ и мощности сезонно-талого слоя (СТС) играют важную регулирующую роль и часто являются пусковым механизмом деструктивных изменений.

Выборочные исследования, проведенные в отдельных арктических городах России, выявили многочисленные примеры повреждения зданий и сооружений. Данные указывают на то, что в настоящее время число сооружений в криолитозоне, основания которых испытывают деструктивное воздействие, значительно увеличилось [1].

Целью нашего исследования является разработка методики мониторинга температуры ММГ на основании многослойной электронной карты инженерно-геокриологических условий с использованием геоинформационных систем и технологий.

Методы и материалы

Для достижения поставленной цели применялся картографический метод. В качестве ГИС-системы применялся программный продукт Mapinfo Professional и специализированный программный комплекс «KrioLab Temp».

Многослойная электронная карта инженерно-геокриологических условий составляется по результатам инженерно-геологических изысканий включающих:

- проходку инженерно-геологических выработок;
- обустройство термометрических скважин;
- определение и фиксация температуры грунта в термометрических скважинах;
- камеральную обработку полученных материалов.

Проходка инженерно-геологических выработок выполняется механизировано колонковым способом «всухую», либо с продувкой охлажденным воздухом для избежания растепления многолетнемерзлых грунтов.

Обустройство термометрической скважины в пределах протаивающего слоя грунта выполняется при том условии, что скважина должна быть защищена обсадной трубой-кондуктором, заглубленным в многолетнемерзлый грунт не менее чем на 0,5 м. При наличии межмерзлотных или подмерзлотных вод и осыпаний стенок скважины на всю ее глубину следует устанавливать защитную пластмассовую или стальную трубу, герметизированную снизу и в соединениях, диаметр которой должен обеспечивать свободный спуск и подъем гирлянды [6]. Размещение и число термометрических скважин должно обеспечивать получение характеристики температурного режима ММГ всего изучаемого участка.

Определение и фиксация температуры грунта в термометрических скважинах проводится термоизмерительной гирляндой, подключаемой к портативному контроллеру «KrioLab» TKL, который позволяет получить температуру с датчиков термокосы, отобразить результаты на дисплее, сохранить в энергонезависимую память и передать данные на персональный компьютер (ПК). Контроллер также может быть использован как Логгер – для автономного сбора данных с настраиваемым интервалом (рис. 1).



Рис. 1. Контроллер и термокоса KrioLab

Просмотр результатов термометрических наблюдений и камеральная обработка осуществляется в программном обеспечении (ПО) «KrioLab Temp» (рис.2).

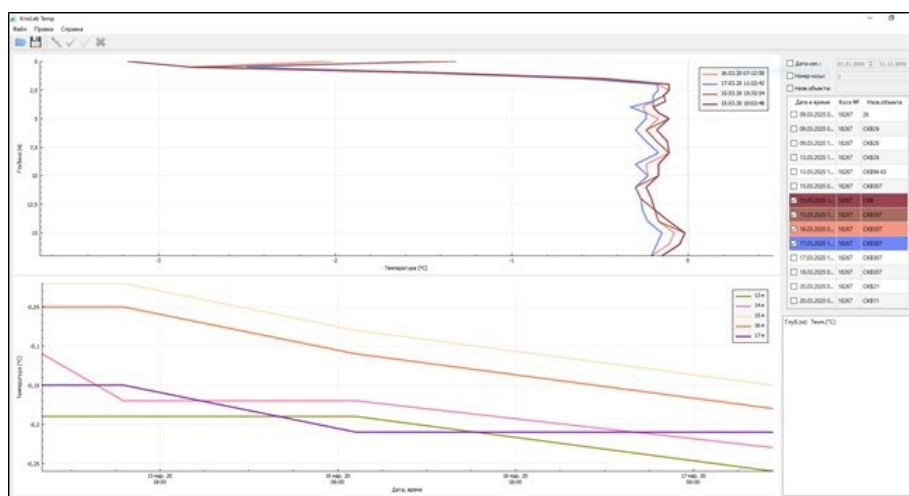


Рис. 2. Просмотр результатов термометрических наблюдений в ПО «KrioLab Temp»

В качестве исходного картографического материала используются топографические планы масштабов 1:5000 – 1:500. Масштаб инженерно-геокриологической съемки выбирается в зависимости от площади исследуемой территории и сложности инженерно-геокриологических условий [7].

Результаты

После выполнения камеральной обработки материалов инженерно-геологических изысканий, в результате которой изучены и проанализированы все собранные материалы, в программе MapInfo Professional авторами статьи построена многослойная электронная карта инженерно-геокриологических условий, содержащая следующие информационные слои:

- отметки высот термометрических скважин;
- температура грунта на требуемой глубине;
- границы инженерно-геокриологических участков по температуре;
- литологический состав слоя сезонного примерзания и оттаивания грунтов;

- границы таликовых зон;
- глубина сезонного-оттаивания грунтов;
- мощность многолетнемерзлых грунтов.

Фрагмент многослойной электронной карты инженерно-геокриологических условий представлен на рис. 3.

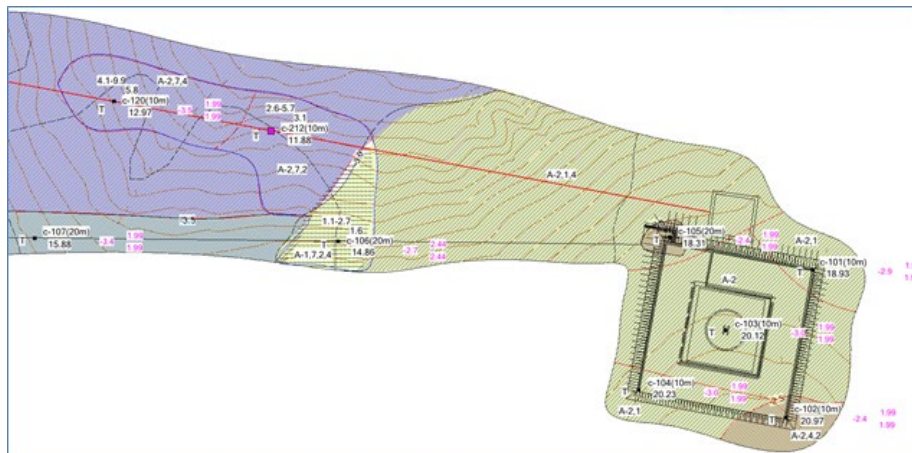


Рис. 3. Фрагмент многослойной электронной карты инженерно-геокриологических условий

На основании полученных в ходе инженерно-геокриологических данных и на основе топографического плана составлена многослойная электронная инженерно-геокриологическая карта с применением геоинформационных технологий.

На электронной инженерно-геокриологической карте отображены основные характеристик инженерно-геокриологической обстановки территории: среднегодовая температура грунтов, состояние грунтов, тип мерзлоты, тип инженерно-геокриологического разреза, глубина залегания кровли ММГ, нормативная глубина сезонного оттаивания/промерзания, литологический состав слоя сезонного оттаивания/промерзания. Цветной штриховкой выделены участки с различной температурой грунта на глубине 10 м; штриховкой обозначены разновидности верхних слоев грунтов; границами, условными и цифровыми знаками обозначены элементы геокриологии (залегания линз льда, таликов); границами и буквенно-цифровыми знаками обозначены типы инженерно-геокриологического разреза: цифровыми обозначениями у пробуренных скважин даны следующие характеристики по скважинам: температура грунтов на глубине 10 м, глубина залегания кровли многолетнемерзлых грунтов, уровень надмерзлотных вод, нормативная глубина оттаивания/промерзания грунтов.

Обсуждение

О недостаточном учете особенностей геокриологических условий и их природных и техногенных изменений, в следствие которых происходят многочисленные деформации сооружений, иногда даже аварийного характера и о необходимости контроля и управления температурным режимом грунтов в процессе эксплуа-

тации объектов отмечается в статье Д. Ю. Кропачева, под руководством которого в АО «НПП «Эталон» разработана система мониторинга температур протяженных объектов [8]. М. В. Рабинович отмечает необходимость организации масштабного наблюдения за состоянием многолетнемерзлых грунтов, разработки методики оценки реального влияния изменения климата на состояние вечной мерзлоты и о сборе и систематизация данных по температурному режиму грунтов оснований зданий и грунтов территорий прилегающих к ним [9]. О необходимости создания системы государственного геокриологического мониторинга с использованием информационных технологии для хранения, обработки, анализа и распределения информации в рамках единой системы – банка данных обосновано в статье А. В. Брушкова [3]. А. В. Дубровский в своих исследованиях отмечает, что для обеспечения рационального природопользования техногенных природно-территориальных комплексов необходим геоинформационный ресурс, как совокупность данных пространственного характера на исследуемую территорию [10].

Таким образом, выполненный анализ научных исследований по цифровизации и созданию электронных карты инженерно-геокриологических условий для обеспечения безаварийной эксплуатации промышленных и гражданских объектов показал актуальность и своевременность выполнения таких работ.

Заключение

Составление электронной карты геокриологических условий позволяет наглядно увидеть участки с распространением многолетнемерзлых грунтов с характерными для них особенностями и оценить степень пригодности (благоприятности) территории для строительства. В процессе мониторинга и постоянной актуализации карты появляется возможность выявления изменений режима температуры ММГ и динамики развития опасных геокриологических процессов и прогнозирования возможности их возникновения и активизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимов О.А. Геокриологические риски при таянии многолетнемерзлых грунтов / О.А. Анисимов, Д.А. – Якутск: Арктика. XXI век. Естественные науки №2, 2015. – 60-74 с.
2. Давыдов В.А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах: учебное пособие / В.А. Давыдов, Э.Д. Бондарева. – Омск: ОмПИ; 1989. - 82 с.
3. Брушков А.В. О создании системы государственного геокриологического мониторинга / А.В. Брушков, Д.С. Дроздов, В.А. Дубровин, М.Н. Железняк, М.Р. Садуртдинов, Д.О. Сергеев, Д. Н. Горобцов, Н. А. Остарков, Р. В. Гулидов, Г. В. Малкова, С. В. Бадина, А. А. Фалалеева, Я. Ю. Шелков – Москва: Вестник инженерных изысканий №20 (49), 2020. – 18-32 с.
4. Манкин М.А. Методика и методы инженерно-геокриологических изысканий / М. А. Манкин. – Ухта: Институт управления, информации и бизнеса, 2005.- 252 с.
5. Гилёва Л. Н. Исследование геологических условий участка закладки геодезических знаков в процессе инженерно-геологических изысканий в целях размещения объектов территориального планирования и капитального строительства / Л.Н. Гилёва, М.А. Петухов // В сборнике: Устойчивое развитие земельно-имущественного комплекса муниципального образования: землеустроительное, кадастровое и геодезическое сопровождение. Сборник научных трудов по материалам IV национальной научно-практической конференции. Омск, 2023. С. 192-196. https://www.elibrary.ru/author_items.asp

6. Брушков А. В. Опыт эксплуатации сооружений и необходимость управления тепловым режимом грунтов в криолитозоне // А. В. Брушков, А. Г. Алексеев, С. В. Бадина, Д. С. Дроздов, В. А. Дубровин, О. В. Жданеев, М. Н. Железняк, В. П. Мельников, С. Н. Окунев, А. Б. Осокин, Н. А. Остарков, М. Р. Садуртдинов, Д. О. Сергеев, Р. Ю. Федоров, К. Н. Фролов. – Санкт-Петербург: Записки Горного института Том 263, 2023. - 742-756 с.
7. СП 493.1325800.2020. Инженерные изыскания для строительства в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2021.
8. Кропачев Д.Ю. Способы мониторинга температуры в вечномёрзлых грунтах / Д. Ю. Кропачев. – Санкт-Петербург: Инженерная защита №4 (9), 2015.
9. Рабинович М.В. Надежная и безаварийная эксплуатация зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах в условиях изменения климатических параметров территории Крайнего Севера Российской Федерации / М.В. Рабинович. – Москва: Экономика строительства, №2, 2022. - 83-89 с.
10. Дубровский А. В. Применение геоинформационного обеспечения для целей рационального использования земель сельскохозяйственного назначения / А. В. Дубровский // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: материалы 7-й Международной научно-практической конференции «Агроинфо-2018», Новосибирск – 2018. – С. 560-563.

© М. А. Петухов, Л. Н. Гилёва, 2026