

Библиографический список

1. Запивалов Н. П., Павлов Ф. В. Индия — путь к большой нефти, 1955–2005. — Новосибирск: Гео, 2005. — 208 с.
2. Запивалов Н. П., Шпильман К. А. Будет Сибирское Баку. — Новосибирск: Кн. изд-во, 1963. — 53 с.
3. Нефть и газ Тюмени в документах. — Свердловск: Средне-Уральское кн. изд-во, Свердловск, 1971. — 450 с.
4. История геологического поиска: к 50-летию открытия Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции / Под ред. А. Шедченко; сост. Н. Балмышева, С. Потапов. — М.: Пента, 2003. — 288 с.
5. Салманов Ф. К. Сибирь — судьба моя. — М.: Молодая гвардия, 1988. — С. 131–141.
6. Запивалов Н. П. Всеми дадут геологи начало. — Новосибирск, 2002. — 52 с.
7. Геологическое строение и нефтегазоносность юга Западной Сибири по новым данным. Труды. ЗапСибНИГ-НИ. — Вып. 116. — / Под ред. Н. П. Запивалова. — Тюмень, 1976. — 145 с.

Сведения об авторе

Запивалов Николай Петрович, д. г.-м. н., академик РАН, профессор, Новосибирский государственный университет, главный научный сотрудник, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, тел. 8(383)3332895, e-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru

Information about the author

Zapivalov N. P., Doctor of Geology and Mineralogy, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor, Novosibirsk State University, Chief Researcher Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, phone: 8(383)3332895, e-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru

УДК 550.83

О СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ КРИОЛИТОЗОНЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

ON SYSTEMIC APPROACH TO INCREASING THE EFFECTIVENESS OF
RESEARCHES OF CRYOLITHOZONE OBJECTS BY GEOPHYSICAL METHODS

С. К. Туренко, К. В. Дружинина

S. K. Turenko, K. V. Druzhinina

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН, г. Тюмень

*Ключевые слова: криолитозона; верхняя часть разреза; системный подход;
критерий эффективности*

Key words: cryolithozone; upper part of the section; system approach; efficiency criterion

В Российской Федерации многолетняя криолитозона занимает 2/3 территории. Это северные и северо-восточные регионы России, в пределах которых приповерхностная часть земной коры частично или полностью представлена мерзлыми горными породами, содержащими ледяные включения [1].

Криогенные объекты являются, с одной стороны, важными элементами экосистемы, требующими более глубокого изучения и мониторинга, с другой стороны, важными элементами объектов промышленного освоения (строительство и эксплуатация инженерных сооружений, поиск и разведка месторождений полезных ископаемых).

Изменение теплового режима мерзлоты и криогенные процессы по некоторым подсчетам оказываются причиной 23 % отказа технических систем и 29 % потерь добычи углеводородов [2]. Неучет мерзлоты в верхней части разреза (ВЧР) приводит к появлению ложных или существенному искажению геометрии выявленных месторождений углеводородов.

Основные задачи исследований криолитозоны [3]:

- общие исследования криолитозоны (общая геокриология): физика, химия, механика, литогенез, история мерзлых грунтов;
- исследования и мониторинг экосистемы;
- исследование геологической системы: региональные исследования, поиск и разведка полезных ископаемых, инженерно-геологические исследования.

В данной работе, с позиции промышленного освоения криолитозоны, будем ориентироваться в первую очередь на инженерно-геологические исследования.

При строительстве и эксплуатации инженерных объектов в районах криолитозоны необходимо изучать верхнюю часть геологического разреза, важнейшим элементом которой является мерзлота [2–7], и локальные техногенные изменения объектов криолитозоны.

Обобщенная модель (основные характеристики) объектов ВЧР в криолитозоне [4, 7] включает в себя геометрические параметры — сплошность, размеры по горизонтали, мощность; физические параметры — скорость упругих волн (продольных, поперечных), плотность, сопротивление, влажность и т. д.; литологию.

Особенности объектов криолитозоны таковы.

- *Разномасштабность.* Размеры от сотен километров по латерали и сотен метров по вертикали до метров и сантиметров.
- *Динамичность и неустойчивость* (относительно других объектов литосферы), что не позволяет эффективно исследовать криолитозону на основе только прямых, скважинных исследований.
- *Сплошность.* По сплошности выделяют следующие виды криолитозоны: сплошная, прерывистая, островная. Особым видом криолитозоны является реликтовая мерзлота, залегающая на глубине от десятков до сотен метров ниже поверхности земли. В чистом виде сплошная мерзлота отсутствует. Указанные виды криолитозоны представлены различным сочетанием мерзлых и талых пород.

Во многих случаях ВЧР криолитозоны можно представить [7] в виде нескольких блоков талых и мерзлых пород с вертикальными, горизонтальными и наклонными контактами, осложненными различными геокриологическими процессами и явлениями.

Указанное обуславливает повышение требований к точности, детальности и эффективности исследований объектов криолитозоны геофизическими методами. Риски при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений будут тем меньше, чем больше точность инженерно-геологических исследований.

Основные методы исследования криолитозоны [3]:

- геологические — прямые (полевые, лабораторные);
- геофизические — косвенные (скважинные, полевые наземные).

С учетом особенностей объектов криолитозоны важное место в комплексе геофизических исследований занимают полевые геофизические методы [3–9]: сейсморазведка, электроразведка, термометрия и т. д. Среди них, с учетом резкого повышения сопротивления и скорости упругих волн в мерзлых рыхлых породах, особое место занимают малоглубинная сейсморазведка и электроразведка. Причем с учетом экономического фактора и информативности во многих случаях предпочтение отдается электроразведке.

Следует отметить, что в различных регионах ВЧР разная и внутри регионов также наблюдается большая изменчивость ВЧР, соответственно, разнятся методы и методики исследований.

Говорить в этих условиях о едином комплексе методов и методике исследований нецелесообразно.

В настоящее время накоплен большой опыт исследований криолитозоны геофизическими методами. Частично этот опыт аккумулирован в инструкциях и методических рекомендациях, большей частью ведомственных и касающихся отдельных методов, применительно к конкретным условиям [4, 7, 10, 11]. В них обобщен опыт 20–30-летней давности. В публикациях отражены, как правило, частные разработки и опыт 3–5-летней давности.

Многообразие и сложность объектов и задач исследований криолитозоны, повышение требований к эффективности ее промышленного освоения обуславливают повышение требований к эффективности геофизических исследований.

С целью повышения эффективности инженерной геофизики совершенствуют аппаратуру [7, 12], методику полевых работ [8, 13, 14], методы и методики интерпретации [14], программное обеспечение; разрабатываются новые методы исследований [15, 17].

В данной работе предлагается акцентировать внимание не на совершенствовании отдельных аспектов геофизических исследований, а на формировании решения за счет эффективной интеграции имеющихся разработок применительно к условиям конкретной задачи.

То есть речь идет о едином системном подходе (мегаметодике), позволяющем учитывать взаимосвязь основных факторов повышения эффективности исследований и настраивать (адаптировать) процесс для получения требуемого результата.

Иными словами, необходимо разработать адаптивную методику построения эффективных моделей ВЧР в условиях криолитозоны на основе использования геофизических методов.

Для этих целей предлагается рассмотреть процесс построения моделей ВЧР в условиях криолитозоны как поэтапный процесс постановки и решения задачи. При этом эффективность реализации отдельных этапов должна быть увязана с эффективностью решения задачи в целом, а также должна быть предусмотрена возможность адаптации процесса.

Реализация предлагаемого системного подхода связана с решением следующих вопросов:

- формулировка задачи исследований;
- выделение основных этапов постановки и решения задачи;
- определение основных факторов (управляемых параметров);
- определение системы критериев оценки эффективности;
- определение методики обоснования (оптимизация).

Для формулировки (постановки) задачи исследований необходимо определить, что такое задача.

В основу определения задачи положим понятия «модель задачи» и «язык описания модели».

Выбор конкретной модели и языка определяется конкретной ситуацией, преследуемой целью и интуицией исследователя.

Будем полагать, что имеем дело с задачей, если фиксированы [18, 19] $\langle \Pi, O, Y, S^a, K \rangle$.

Π — цель исследований. Конкретизируется в рамках одной из геокриологических задач, сформулированных выше. В нашем случае это, например, проведение инженерно-геологических исследований с целью обоснования строительства линейного трубопровода, мониторинга инженерно-геологической среды с целью прогноза аварийно опасных зон.

O — объект исследования. Например, центральные районы Якутии, районы среднего Ямала.

При постановке задачи на проведение исследований очень многое зависит от адекватности и полноты модели объекта исследований (физико-геологической модели).

Y — условия исследований: природные (температура, рельеф и т. д.), технические, геологические, экономические, экологические (ограничения). При этом условия исследований следует делить на управляемые (УУ) и неуправляемые (УН). Повышение эффективности исследований реализуется путем подбора УУ (управляемых параметров) с учетом всех условий постановки задачи.

S^a — множество способов исследований, из которых будет осуществляться выбор (например, рекомендуемый заказчиком комплекс методов).

K — критерий эффективности исследований (требование к результату) является функцией от показателей эффективности $K = K(p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Здесь ($p_1, p_2, \dots, p_n$) показатели эффективности — признаки по которым осуществляется оценивание результатов деятельности. Наиболее часто при решении геологических задач используют показатели качества — H , стоимости — C , времени — T . Качество исследований может оцениваться, в частности, через погрешность построения модели ВЧР. На основе одних и тех же показателей эффективности могут формироваться различные критерии. Например, допустимое решение задачи может определяться критерием $K: H \leq H_0, C \leq C_0, T \leq T_0$, где H_0, C_0, T_0 — допустимые погрешность, затраты, время. Другой критерий $K: C \leq C_0, T \leq T_0, H \Rightarrow \min$. Выбираем модель с минимальной погрешностью при заданных ограничениях на затраты и время.

В случае, когда процесс постановки и решения задачи является многоэтапным, следует различать критерии эффективности на глобальные (задачные) — K_z и локальные — K_l (подзадачные). Задачный критерий является функцией от локальных критериев $K_z = K_z(K_{l1}, K_{l2}, \dots, K_{ln})$. Будем делить критерии на прямые (внешние, ретроспективные) — K_P , вычисляемые после решения задачи; косвенные (внутренние, прогнозные) — K_K , вычисляемые до решения задачи, исходя из внутренних свойств способа решения. Для проектирования (управления) важно наличие косвенного задачного критерия. Фактически это основа модели управления.

Заданный перечень элементов (модель) задачи может быть описан на содержательном (предметном), формальном, математическом языке. Соответственно, будем различать и уровни постановки задачи: содержательный, формальный, математический.

Основные функциональные этапы постановки и решения задач [18, 19]: постановка задачи; решение задачи (получение данных, обработка данных, интерпретация данных, построение обобщенной модели объекта исследований); оценка эффективности решения задачи.

Основные подэтапы этапа получения данных — выбор комплекса методов, сети наблюдений, методики наблюдений.

Под постановкой задачи будем понимать задание (описание) всех элементов принятой модели.

Под решением задачи — выбор (теоретическое решение) и реализацию (практическое решение) способа решения задачи.

Под оценкой эффективности — оценку соответствия результатов цели.

Эффективность решения задачи зависит от эффективности реализации перечисленных подэтапов. Каждый из подэтапов мы должны рассматривать как подзадачу основной задачи. Особенность геокриологических и инженерно-геологических задач — их слабая формализованность, значительная неопределенность задания условий задачи. Это приводит к тому, что мы должны подбирать (адаптировать) решение, варьируя условия в заданном диапазоне.

В рамках адаптивного (управляемого) подхода к реализации процесса постановки и решения задач при реализации каждого функционального этапа выделим следующие технологические подэтапы:

- проектирование (определение ключевых управляемых параметров-факторов и их значений);
- реализация;
- контроль (оценка);
- адаптация (выработка корректирующих мероприятий).

При этом критерии оценки на отдельных этапах являются локальными K_l (внутренними) по отношению к критерию K_z решения задачи в целом.

Будем считать, что система управления процессом построения моделей ВЧР в условиях криолитозоны эффективна, если удастся на основе системы локальных

критериев (Кл1, Кл2,... Клп) достаточно точно прогнозировать глобальный (задачный) критерий Кз.

При построении системы показателей и критериев будем опираться на представления теории погрешностей и теории физических и геофизических измерений [18–20].

Выводы

- Предложенный в работе системный подход к повышению эффективности геофизических исследований объектов криолитозоны основан на формализации процесса геофизических исследований как поэтапной реализации процесса постановки и решения задачи.
- Предлагаемый подход позволяет реализовать управляемость (эффективность) процесса за счет формализации (высвечивания) всех основных элементов (этапов) процесса и системы взаимосвязанных критериев эффективности функциональных этапов и решаемой задачи.
- Целесообразны апробация и развитие предлагаемого подхода для конкретных задач инженерно-геологических исследований (построение модели ВЧР).

Библиографический список

1. Building on permafrost: engineering solutions for energy efficiency. Earth Cryosphere (Kriosfera Zemli) XVIII (3) / V. P. Melnikov [et al.]. – 2014. – P. 82–91.
2. Мельников В. П., Брушков А. В., Дроздов Д. С. Современные проблемы геокриологии // Материалы Пятой конференции геокриологов России, МГУ имени М. В. Ломоносова, 14–17 июня 2016. Часть 5. Региональная историческая геокриология. – Т. 1. – М.: Университетская книга, 2016. – С. 6–26.
3. Ершов Э. Д. Методы геокриологических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 512 с.
4. Воронков О. К. Инженерная сейсморазведка в криолитозоне. – СПб., 2007. – 274 с.
5. Зыков Ю. Д. Геофизические методы исследования криолитозоны. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 264 с.
6. Якупов В. С. Геофизика криолитозоны. – Якутск: Изд-во Якутского гос. ун-та, 2008. – 342 с.
7. Смиливец О. Д. Методика и технология геофизических исследований верхней части геологического разреза при проектировании технических сооружений в нефтегазовых районах криолитозоны: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Саратов, 2003. – 226 с.
8. Верутин М. Г. Инженерная геофизика. – Гомель, 2005. – 231 с.
9. Стогний В. В. Импульсная индуктивная электроразведка таликов криолитозоны Центральной Якутии: дис. ... канд. техн. наук. – Якутск, 2003. – 124 с.
10. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований. – М.: ПНИИС Госстроя России, 2004.
11. Результаты изучения геокриологических условий арктических территорий с помощью сейсмических методов / В. П. Мельников [и др.] // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 1. – С. 171–180.
12. Садурдинов М. Р. Методика донных сейсмических исследований инженерно-геокриологических условий на предельном мелководье Арктики: Автореф. дис. техн. наук. – М.: МГУ, 2013. – 109 с.
13. 3D resistivity imaging from an archaeological site in South-Western Anatolia / M. G. Drahoh [et al.] // A case study. Near Surf. Geophys. – 2007. – № 5. – P. 195–201.
14. Результаты экспериментальных исследований криогенного состояния горных пород методом георадиолокации в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны / Д. В. Саввин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 8. – С. 305–309.
15. Granite fracturing and incipient pollution beneath a recent landfill facility as detected by geoelectrical surveys / R. Mota [et al.] // Applied Geophys. – 2004. – № 57. – С. 11–22.
16. Электротомография — инновационный геофизический метод для эффективного решения инженерно-геологических задач / И. Н. Модин [и др.] // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2010. – № 1. – С. 33–36.
17. Sasaki Y., Meju M. A multidimensional horizontal-loop controlled-source electromagnetic inversion method and its use to characterize heterogeneity in aquiferous fractured cryo-stalline rocks // Geophysical Journal International – 2006. – Vol. 166, Issue 1. – P. 59–66.
18. Туренко С. К. Интерпретация данных полевой геофизики: учеб. пособие. Т. 1. – 1992. – 112 с.
19. Туренко С. К. Интерпретация данных полевой геофизики. Т. 2. – Тюмень: ТюмИИ, 1993. – 100 с.
20. Рабинович С. Г. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978. – 262 с.

Сведения об авторах

Туренко Сергей Константинович, д. т. н., заведующий кафедрой прикладной геофизики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)390341, e-mail: turenkosk@tyuiu.ru

Дружинина Ксения Владимировна, аспирант, Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН, г. Тюмень, тел. 89324785980, e-mail: kseni1990@mail.ru

Information about the authors

Turenko S. K., Doctor of Engineering, Head of the Department of Applied Geophysics, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)390341, e-mail: turenkosk@tyuiu.ru

Druzhinina K. V., Postgraduate, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, phone: 89324785980, e-mail: kseni1990@mail.ru