

Проявленные по кварцевым диорит-порфирам безрудные карбонат-альбит-слюдистые метасоматиты с обильной прожилковой магнетитовой минерализацией (рис. а) контрастно выделяются на фоне вмещающих туфогенных алевролитов:

- резкими, местами ураганскими вплоть до $80000 \cdot 10^{-5}$ ед СИ, аномалиями магнитной восприимчивости на фоне немагнитных вмещающих пород;
- сравнительно узким диапазоном значений мощности экспозиционной дозы 6–9 мкР/ч на фоне высоко радиоактивных алевролитов;
- анализ диаграмм ГИС на Понийской площади позволил выявить следующие признаки оруденелых кварцевых диорит-порфиров;
- чрезвычайно высокая неоднородность по магнитной восприимчивости (от первых сотен до ста и более тысяч $\cdot 10^{-5}$ ед. СИ по КМВ), обусловленная развитием более поздней пирит-халькопиритовой минерализации с золотом по магнетиту кварцевых диорит-порфиров и карбонат-альбит-слюдистых метасоматитов (рис. б);
- повышенная до 16–18 мкР/ч МЭД что, вероятно, обусловлено привнесом радиоактивных элементов на рудном этапе.

Зоны интенсивной прожилковой сульфидной минерализации можно также выделить по резким пилообразным аномалиям ПС, но в остальных случаях с преобладающей по разрезу рассеяно-вкрапленной минерализацией данный метод не эффективен.

Зонам дробления и трещиноватости свойственно существенное снижение удельного электрического сопротивления.

Участки прожилкового окварцевания приводят к понижению радиоактивности и заметному увеличению кажущегося сопротивления пород.

Установленный по результатам ГИС факт полутора-двукратного увеличения МЭД в рудных интервалах позволяет рекомендовать метод гамма-спектрометрии в комплекс наземных поисково-разведочных работ. Обогащение РАЭ участков с пониженными значениями ΔT , проявленных среди высокомагнитных неоднородностей кварцевых диорит-порфиров, будет дополнительным геофизическим признаком перспективности этих участков на золото-медное оруденение.

Литература

1. Шумилин Д. А. и др. Геологическое строение, магматизм и минерализация среднеамурского золото-меднопорфирового рудного района // Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов-от прогноза к добыче. – 2020. – С. 219-221.
2. Поисковые работы на золото-кварцевое и золото-меднопорфировое оруденение на Понийском перспективном участке (Хабаровский край). Ч.1 / Госконтракт № 3/2016 от 02 августа 2016 г. – М.: АО «Росгеология», 2018. – 306 с.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РАДИУСА РАСТЕПЛЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Шелемехова С.Д., Любимый Е.В., Смоляков Д.Д.

Научный руководитель профессор Половников В.Ю.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Процессы теплопереноса при растеплении многолетнемерзлых пород являются предметом исследования во многих приложениях, в том числе и при работе скважин [1, 2, 5]. В работах, подобных [1, 2, 5], описываются различные аспекты эксплуатации нефтяных и газовых скважин. Исследований, посвященных растеплению многолетнемерзлых пород при эксплуатации геотермальных скважин в РФ, в настоящее время не опубликовано. Очевидные различия в эксплуатации нефтегазовых и геотермальных скважин обосновывают необходимость проведения подобных исследований.

Цель работы – численное моделирование процессов теплопереноса при формировании радиуса растепления многолетнемерзлых пород при эксплуатации наиболее типичных геотермальных скважин в Восточной Сибири.

В качестве объекта исследования выбрана геотермальная скважина типичной конструкции: металлическая труба и цементные колонны, кондуктор и направления. Схема области решения рассматриваемой задачи приведена на рис. 1.

Предполагается, что до начала работы рассматриваемого объекта в области решения поддерживается фиксированная температура. Высокотемпературный энергоноситель нагревает рассматриваемую систему (конструкцию скважины и окружающие ее породы). При этом происходит растепление многолетнемерзлых пород. Предполагается, что на протяжении всего периода эксплуатации на внутренней поверхности металлического трубопровода температура имеет постоянное значение. Анализ тепловых потоков от геотермальной скважины сводится к решению нестационарной задачи теплопроводности для области решения, показанной на рис. 1.

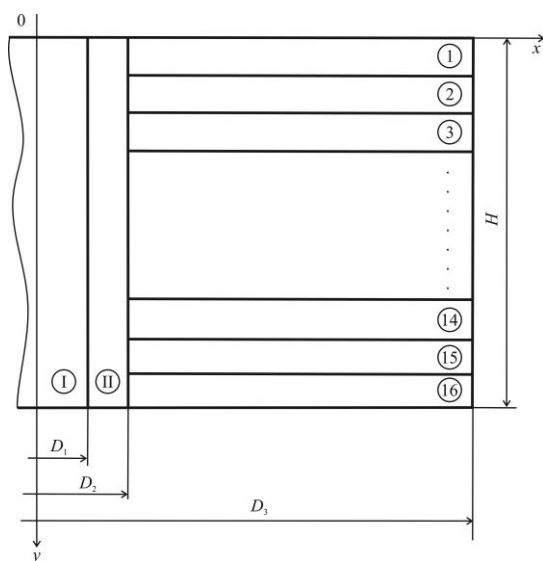


Рис. 1. Схематическое изображение рассматриваемого объекта:
I – трубопровод; II – цементные элементы скважины; 1 – 16 – слои породы [4]

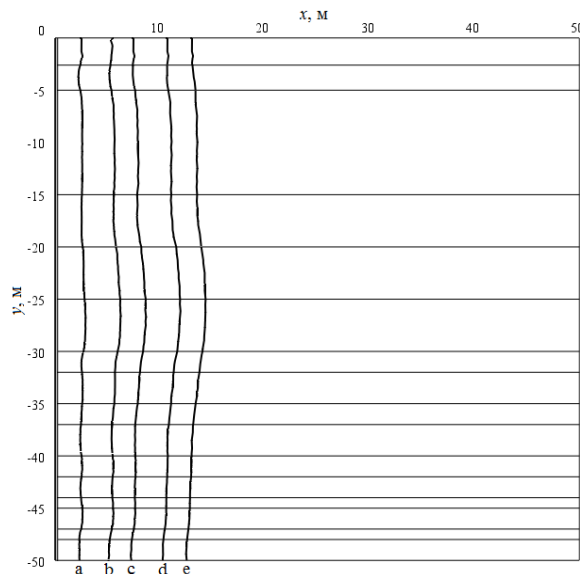


Рис. 2. Изотермы 273,15 К при $T_1 = 323,15$ К:
a – 1 год; b – 5 лет; c – 10 лет; d – 20 лет; e – 30 лет

Основные допущения, принятые при постановке задачи, состоят в следующем:

1. Теплофизические свойства, использованные при проведении численного моделирования, имеют постоянные значения.
2. На существенном расстоянии от скважины (50 м) температура разогретых пород имеет постоянное значение.
3. Для рассматриваемой задачи реализуются условия идеального теплового контакта.
4. Процессы переноса массы (рис. 1) не рассматриваются.

Постановка задачи (уравнения теплопроводности и соответствующие им краевые условия) аналогичны описанным в [4]. При решении рассматриваемой задачи использовались метод конечных разностей и метод простых итераций [3, 6]. Задача решена на неравномерной разностной сетке (координатный шаг: от 0,1 до 10 мм). Геометрические параметры ($D_1 = 0,073$ м; $D_2 = 0,53$ м; $D_3 = 50$ м, $H = 50$ м) соответствовали типичной конструкции геотермальной скважины (рис. 1).

Начальная температура, в рассматриваемой области решения, принималась равной температуре пород (272,15). Температура прокачиваемого энергоносителя в трубопроводе T_1 составляла от 298,15 К до 373,15 К.

Теплофизические характеристики, использованные при проведении моделирования, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Теплофизические характеристики

| Материал | Теплопроводность, Вт/(м·К) | Теплоемкость, Дж/(кг·К) | Плотность, кг/м ³ |
|----------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Труба | 46,1 | 310 | 5240 |
| Цемент | 0,99 | 1900 | 1830 |
| Порода | 1,6 | 870 | 3050 |

Результаты исследования радиуса растепления многолетнемерзлых пород приведены на рис. 2 и в табл. 2. Исследования выполнены для 30 лет непрерывной работы геотермальной скважины. При численном анализе исследовалось влияние нестационарности процессов теплопереноса в рассматриваемой системе.

Результаты численного моделирования позволили сделать вывод об ожидаемом увеличении радиуса растепления с течением времени и его зависимости от температуры энергоносителя T_1 . Значения радиусов растепления пород/грунтов в рассматриваемой области решения, приведенные в табл. 2, позволяют сделать вывод о том, что они могут достигать существенных значений (12–17 метров).

Таблица 2

Максимальный радиус растепления пород в рассматриваемой области решения

| T_1 , К | 373,15 | 348,15 | 323,15 | 298,15 |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Максимальный радиус растепления, м | 16,93 | 15,89 | 14,36 | 11,68 |

Полученные результаты позволяют обоснованно выбирать расстояния между соседними геотермальными скважинами, эксплуатируемыми в многолетнемерзлых породах. Сетка размещения

геотермальных скважин, основанная на подобных расчетах, будет способствовать оптимизации затрат на строительство площадок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-29-00464).

Литература

1. Гасумов Р. А. и др. Расчет изотермического фронта протаивания многолетнемерзлой породы по данным, полученным при проводке скважины // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011. – №. 2. – С. 20-22.
2. Горелик Я. Б., Шабаров А. Б., Сысоев Ю. С. Динамика протаивания мерзлых пород в зоне влияния двух скважин // Криосфера земли. – 2008. – Т. 12. – №. 1. – С. 59-65.
3. Пасконов, В.М. Численное моделирование процессов тепло – и массообмена – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 288 с.
4. Половников В. Ю., Цыганкова Ю. С. Радиус растепления многолетнемерзлых пород при эксплуатации нефтяных скважин в Восточной Сибири // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2014. – №. 1. – С. 38-43.
5. Полозков К. А. Выбор расстояний между кустовыми добывающими скважинами в зонах ММП // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – №. 3. – С. 21-29.
6. Самарский А. А. Теория разностных схем. – 1977.