

## ОТЗЫВ

на диссертацию Полякова Андрея Юрьевича  
«Анализ условий водного и газового питания Мутновского геотермального резервуара  
(Камчатка)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-  
минералогических наук по специальности 25.00.07 – Гидрогеология  
(116 страниц, 52 рисунка, 10 таблиц).

Актуальность темы диссертации определяется тремя факторами 1) высокой заинтересованностью народного хозяйства в освоении возобновляемых источников энергии; 2) необходимостью дальнейшего развития понимания механизмов возникновения и функционирования гидротермальных систем; 3) возможностью использования указанных систем для решения задач гидрогеодинамики, в частности, предсказания землетрясений. Перечисленные обстоятельства, а также полученный автором обширный экспериментальный материал на эксплуатирующемся гидротермальном месторождении, определяют практическую и научную значимость работы.

Для получения исходной информации автором использован разнообразный приборный парк, натурные и лабораторные наблюдения. Данные, полученные автором, в некоторых случаях являются уникальными. Следует отметить массив измерений изотопного состава флюида (подземных и поверхностных вод, пара, атмосферных осадков) в пределах размещения гидротермальных систем исследуемого района. Эти материалы позволили, например, уточнить положение области питания Мутновской гидротермальной системы.

Использованный в работе объем данных определяет высокую степень обоснованности и достоверности полученных выводов и защищаемых положений.

Интерпретация материалов выполнена автором, в том числе, с привлечением статистических методов и математического моделирования (например, использован такой мощный инструмент, как пакет программ TOUGH). Отметим, что автору при разработке модели пришлось преодолеть ряд трудностей (см. текст на с. 18), связанных с особенностями строения сложной Мутновской гидротермальной системы.

В рамках исследований автором разработан ряд технических улучшений для стандартных методов опробования природных и техногенных объектов, полевых режимных наблюдений и лабораторных экспериментов, позволяющий повысить качество получаемой информации. Предложенные разработки реализованы автором как самостоятельно, так и в рамках коллектива, включая долговременные полевые наблюдения по реперным точкам, а также лабораторные эксперименты по количественной оценке теплофизических свойств пород.

Результаты работ представлены автором самостоятельно и в соавторстве в ряде публикаций в отечественных и зарубежных журналах, а также материалах научных собраний. Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию работы и отражает все ее принципиальные положения.

Представленная к защите диссертация представляет собой законченное научное исследование, результаты которого могут быть использованы в дальнейшем, как при изучении конкретных гидротермальных систем в практических целях, так и для развития научных положений о закономерностях функционирования гидрогеологических систем, существование которых обусловлено локальными неоднородностями теплового потока.

При рассмотрении диссертации возник ряд замечаний к ее оформлению и содержанию.

1. Автору следовало аккуратнее оформить графический материал, так как ряд рисунков и диаграмм трудночитаем или содержит разночтения с текстом:

- с. 13. Рис. 1.2. Добавить цвет, иначе рисунок труден для восприятия.
- с. 38. Дать рис. 2.9 в альбомной ориентации страницы.

– с. 46. Рис. 2.14. На разрезе видна красная заливка фигур, два оттенка розового и серое, а в легенде дается расшифровка только для красной, розовой и серой заливки и то в виде условных обозначений: «...4 – DYKE, 5 – RESER, 6 – CAPR,...», что затрудняет понимание.

– с. 47. В тексте дан номер Рис. 2, которому, видимо, соответствует реальный номер Рис. 2.15.

– с. 52. Рис. 3.1. Требуется ссылка на источник сейсмической информации, кроме того, не расшифрован смысл номеров около точек, отвечающих эпицентрам землетрясений (ссылка с разъяснением появляется только в Таблице 3.2 на с. 61).

– с. 53. Записи давлений в скважине 30 на диаграммах 3.2–3.5 невозможно сопоставить с отметками землетрясений на Рис. 3.1, так как на первых приведены даты наблюдений, а на Рис. 3.1 – условные номера.

– с. 58. Рис. 3.9. нет шкалы для условного обозначения "...диаметр окружности пропорционален магнитуде землетрясения;...".

– с. 59. Рис. 3.10 – трудно читаем.

– с. 93. На Рис. 4.17 приведены графики измерения температуры для "...образец DG139, табл. 4.3...", а в соответствующем месте текста говорится о диаграмме, позволяющей оценить воспроизводимость измерений теплофизических свойств пород.

2. Автор допускает смену форматов текста. Например, при написании номеров скважин (в частности, с индексами типа O16, O29W и т.п.) попеременно в качестве префикса используется то буква "O", то цифра "ноль". В качестве разделителя целой и дробной части чисел используется то запятая, то точка. Имеют место ошибки в орфографии и синтаксисе. Следует отметить не всегда корректное размещение рисунков и таблиц, например, на с. 86 дается ссылка на Таблицу 4.1, в то время как сама таблица представлена на с. 89. Для облегчения восприятия материала ссылки на литературу полезно приводить в виде [Фамилия, год].

3. Текст может быть заметно сокращен за счет исключения технических подробностей. Например, на с. 73 описывается система «капиллярная трубка» производства Pruett Inc. (США). Без какого либо ущерба для понимания материала техническое описание стандартного коммерческого устройства можно опустить, дать в виде ссылки, приложения или другим подобным образом. В тексте использованы технические вульгаризмы. Например, на с. 86. сказано "...в качестве уравнения состояния использовался модуль EOS-3". Правильнее, по-видимому: "Модуль EOS-3, включающий соответствующие уравнения состояния, использован...".

4. К тексту имеется ряд смысловых замечаний.

4.1.– с. 4–5. Во вводной части при формулировании задач правильнее было бы 2-ю и 3-ю задачи поменять местами (сначала получение исходных данных, затем описание объекта), а 5-ю задачу (разработка экспериментальных методов) сделать первой.

4.2.– с. 6. Описание научной новизны работы. Сказано: «3. Выполнена верификация условий водного питания Мутновского месторождения с использованием математического моделирования (TOUGH2)». Верификация условий производится на базе изотопных или других исходных количественных данных. С помощью программного обеспечения выполняется количественное описание объекта (после калибровки моделей).

4.3.– с. 22–28 для обоснования характера флюида и направления его течения автором используется параметр Cl/SO4 и сравнение расчетов по Na–K геотермометру с прямыми замерами температуры. Хотелось бы увидеть авторскую гипотезу, объясняющую вариации параметра Cl/SO4, а также правомочность использования указанного геотермометра.

4.4.– с. 30–34. Для расчета изотопного состава исходной воды (до сепарирования пара) использована зависимость из [Arnason B. Hydrothermal Systems in Iceland Traced by Deuterium // Geothermics. 1977. V. 5. № 1/4. P. 140–144.]. Одним из параметров уравнения является доля воды, потерянная в виде пара, которая определялась расчетным путем.

Необходимо указать ошибку оценки этой величины, а в Таблице 2.3.1 привести данные по измеренным температурам флюида. Для анализа данных из Таблицы 2.3.1 и на Рис. 2.7, 2.10 нужно привести схему расположения точек отбора проб. В Таблице 2.3.1. только для скважин 4E, O29W (опробование от 05.11.1998, 14.02.1999 и 15.02.1999) приведены исправленные величины  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  для пара, которые существенно отклоняются от линии метеорных вод вправо. На диаграмме  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  пар должен смещаться влево от начального положения. Имеет место обратная картина. Почему?

4.5.– с. 36–38. Автор указывает, что равенство изотопных составов осадков и термальных вод «...доказывает водное питание Мутновского геотермального резервуара ледниками из кратера Мутновского вулкана». Следует указать, что воды Мутновского месторождения смещены относительно линии метеорных вод, а осадки нет. То есть, первые подвергались воздействию вторичных процессов (скорее всего подземного испарения), а вторые, естественно, нет. Грубая оценка начального состава термальных вод (по линии фракционирования) дает их составы на 1–1,5 % легче по кислороду-18, чем для осадков, а для флюида из скважин 4E, O29W – не менее, чем на 5–7%. Такое расхождение в изотопном составе питания и термального флюида требует объяснения. В Разделе 2 Таблица 2.3.1 приведено 59 измерений изотопного состава воды, на Рис. 2.7. и 2.10 точек несколько меньше, при этом ранее указывалось, что всего выполнено 307 измерений изотопного состава. Необходимо объяснить принцип отбора использованной для анализа изотопной информации.

4.6.– с. 42–44. В объяснении процедуры построения численной модели опущено описание этапа верификации и калибровки модели, а также способа ее параметризации и назначения граничных условий, хотя такие пояснения даны в публикациях. Формальное описание математической постановки задачи в пакете TOUGH можно убрать.

4.7.– с. 55–57. Способ сопоставления аномалий-предшественников на Рис. 3.6 и на Рис. 3.8 с моментами сейсмических событий следовало сопроводить более подробными комментариями, иначе выводы по ним выглядят недостаточно убедительно.

4.8.– с. 61. При обсуждении предикторских возможностей мониторинга давления на скважинах Мутновского поля необходимо привести параметры, использованные в статистической модели, по которой оценивалась вероятность прогноза землетрясения а) с использованием гидрогеологического предвестника и б) по Пуассону (Таблица 3.2 и Рис. 3.11). Следует отметить, что распространение действия предвестника на значительный промежуток времени снижает его реальную информативность. Например, в Таблице 3.2 максимальный промежуток времени между появлением предвестника и событием достигает 663 дней. Однако ясно, что при увеличении времени ожидания вероятность реализации события увеличивается и практически любому предвестнику можно найти подходящее сейсмическое явление.

4.9.– с. 63–64. Раздел 3.4 логичнее объединить с Разделами 3.5 и 3.6, а Таблицу 3.4 «Газовый состав ...» сопроводить графиком 1:1 для удобства восприятия читателем выводов о характере изменения состава газов во времени.

4.10.– с. 66. Раздел 3.5. На основании Рис. 3.13 вклады частот 90 и 160 сут<sup>-1</sup> читатель не может оценить, так как приведен отрывок записи длиной 30 суток.

4.11.– с. 67. Раздел 3.6. Использование EOS-2 (TOUGH2) для описания вариаций давления в скважине. Задание циклического притока углекислого газа в замкнутый объем (каковым, собственно, и является реализованная одноэлементная модель), естественно будет иметь следствием циклическое изменение давления. Это же соображение относится к моделированию удаленного сейсмического воздействия (Раздел 3.7, с. 69–70).

4.12.– с. 81–82. Раздел 4.6. Справедливо указывается, что изучение «...тепловых и петрофизических свойств горных пород является фундаментальной задачей геотермальных исследований, т.к. на этих параметрах основываются разнообразные геодинамические модели, подсчет геотермальных ресурсов и эксплуатационных запасов...». Однако нельзя согласиться с положением о том, что «наблюдения ... в связи с

прогнозом землетрясений показали чувствительность плохо проницаемой матрицы двухфазных резервуаров к сейсмическим событиям [25, 26], из чего также вытекает необходимость углубленных исследований ее тепловых и петрофизических свойств».

Относительная кратковременность реализации сейсмических событий делает малоперспективным изучение тепловых свойств пород, как средства верификации гидродинамической реакции в системе «скажина – гидротермальный резервуар». На подготовительном же этапе, длящемся месяцы-годы, теплофизические свойства пород уже вносят вклад в реакцию системы "скважина – среда", однако использование этой информации для обоснования качества предвестника в настоящее время вряд ли возможно.

4.13.– с. 85. Осесимметричная модель, реализованная в модуле EOS3 (пакет программ для инверсного моделирования iTOUNG2), для обработки экспериментов по оценке теплофизических свойств пород, не требует задания "12 радиальных зон". Кроме того, вероятно, имелись ввиду коаксиальные зоны (как это следует из Рис. 4.14, с. 86).

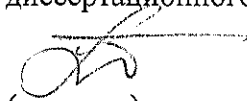
4.14.– с. 94–96. Заключение. Список выводов (8 пунктов) является излишне обширным, тем более, что резюме основных результатов работы представлено в виде трех защищаемых положений. Пункты 2–4 могут быть объединены, а пункт 8 убран, так как он является заявкой о планах автора на будущее.

Высказанные замечания не снижают общее качество работы, так как в ходе исследования решен ряд технических задач и получены сведения, существенные для дальнейшего развития знаний о функционировании гидротермальных систем. Таким образом, диссертация соответствует требованиям, установленным ВАК РФ, а ее автор – Поляков Андрей Юрьевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.07 – Гидрогеология.

Токарев Игорь Владимирович  
Кандидат геолого-минералогических наук  
Ведущий специалист  
Ресурсный центр «Рентгенодифракционные методы исследования»  
Научный парк Санкт-Петербургского государственного университета.  
199155, Санкт-Петербург, В.О., пер. Декабристов, д. 16, пом. 305  
i.tokarev@spbu.ru, сл. тел. 8(812)363-6917

Я, Токарев Игорь Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«31» января 2019 г.

  
(подпись)

Токарев И.В

*Документ готовлен  
в издательском центре  
всего в  
ураста в*

*Токарев И.В.*

НАЧАЛЬНИКА  
КАДРОВ

*Ворова*

*31.01.2019*

