

## ОТЗЫВ

официального оппонента, докт. техн. наук Батугина Андриана Сергеевича  
на диссертацию Петуховой Софии Максимовны  
«ВАРИАЦИИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КАРБОНАТНОГО КОЛЛЕКТОРА  
ПРИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОМ И СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ  
(ПО ДАННЫМ ГФО «МИХНЕВО»)»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 1.6.9 «Геофизика»

**Актуальность темы диссертации.** Мониторинг фильтрационных свойств флюидонасыщенных коллекторов востребован при проведении научных исследований в сейсмоактивных регионах и для решения широкого круга практических задач, связанных с контролем геодинамической обстановки в районах интенсивного освоения обводненных месторождений, характеризующихся сложными инженерно-геологическими условиями. Стационарные высокоточные наблюдения за вариациями уровня подземных вод являются важной составляющей в обеспечении безопасности и эффективности работ при инженерных изысканиях и строительстве подземных сооружений. Актуальность оперативного анализа вариаций фильтрационных свойств флюидонасыщенных коллекторов в естественных условиях и при техногенной нагрузке не вызывает сомнений, так как позволяет своевременно оценивать возможные изменения геодинамической обстановки.

На рассмотрение представлены рукопись диссертационной работы и ее автореферат. Диссертационная работа Петуховой С. М. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 110 наименований, содержит 159 страниц текста, 77 рисунков, 11 таблиц и 2 приложения. Автореферат изложен на 23 страницах, включающих 12 рисунков.

Во **введении** приведена общая характеристика работы, сформулирована цель, задачи исследований, определены научная новизна и практическая значимость, изложены научные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** «Изученность гидрогеологических откликов флюидонасыщенного коллектора на динамическое воздействие» посвящена анализу проблемы, связанной с определением ведущих механизмов, которые могут влиять на изменение фильтрационных свойств флюидонасыщенных коллекторов. В первом разделе на основе опубликованных данных выполнен сравнительный анализ вариаций значений проницаемости в структуре разлома и во вмещающей породе, который представлен в виде сводных таблиц и диаграмм. Во втором разделе рассмотрены режимы деформирования флюидонасыщенного коллектора в квазистационарных условиях и при сейсмическом воздействии. Приведены основные зависимости между рассматриваемыми параметрами, которые наглядно проиллюстрированы в виде схем и графиков. В третьем разделе детально описаны основные механизмы изменений фильтрационных свойств коллектора в ближней, промежуточной и дальней зонах землетрясений, которые характеризуются различными типами гидрогеологических откликов.

**Вторая глава** «Методика обработки экспериментальных данных» посвящена доказательству первого научного положения. В ней приведено подробное описание аппаратно-измерительного комплекса с его техническими характеристиками, который используется при проведении многолетнего мониторинга на территории геофизической

обсерватории «Михнево». Представлены методы и основные формулы расчета, для определения фазового сдвига между приливными волнами, выделенными в смещении грунта и в уровне подземных вод, проницаемости и водопроницаемости, рассмотрена последовательность обработки гидрогеологических откликов коллектора на удаленные землетрясения. Приведено описание численного моделирования вариаций порового давления, рассчитанного с использованием сейсмических данных. Показано, что с помощью предлагаемого комплекса методов обработки сейсмических, гидрогеологических и барометрических параметров возможно оценивать фильтрационные свойства водонасыщенного коллектора.

**Третья глава** «Исследование режима деформирования флюидонасыщенного коллектора по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод» посвящена доказательству второго и третьего научных положений. В ней представлена характеристика режимов двух водоносных горизонтов – верхнего слабонапорного и нижнего напорного, которые рассматриваются в качестве опорных горизонтов при определении фоновых параметров карбонатного коллектора под влиянием вариаций атмосферного давления и земных приливов. Показано, что долговременные вариации проницаемости карбонатных коллекторов двух изучаемых водоносных горизонтов не превышают порядка величины средней проницаемости. Исследованы также различия в реакции коллектора на прохождение сейсмических волн от землетрясений, которые произошли на разных эпицентральных расстояниях от геофизической обсерватории «Михнево». Приведены результаты обработки данных и впервые прослежены гидрогеологические эффекты, вызванные прохождением атмосферных фронтов от извержения вулкана Тонга 15 января 2022 г. Показано, что в платформенных условиях косейсмические эффекты при прохождении сейсмических волн от удаленных землетрясений начинают проявляться в виде осцилляций порового давления при уровне относительной деформации карбонатного коллектора, сравнимой с деформацией от земных приливов.

**Четвертая глава** «Основные закономерности динамики деформирования флюидонасыщенного коллектора» посвящена доказательству четвертого научного положения и исследованию взаимосвязи между вариациями порового давления, зарегистрированными под влиянием земных приливов и сейсмическим воздействием, с режимами деформирования карбонатного коллектора. Результаты моделирования реакции коллектора на прохождение сейсмических волн использованы при сопоставлении теоретически рассчитанных значений порового давления с экспериментальными данными и определении коэффициента нарушенности. В этой главе предложена комплексная модель реакции карбонатного коллектора на квазистационарное и сейсмическое воздействие, в которой в единое целое сведены результаты многолетних стационарных измерений, проводимых на территории геофизической обсерватории «Михнево».

В **заклучении** по диссертации отражены основные результаты, полученные соискателем в процессе исследований и нашедшие отражение в формулировках научных положений и частично в задачах исследования.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в определении пороговых значений относительной деформации карбонатного коллектора, при которых может быть зарегистрирована осцилляция порового давления и эффекты постсейсмического увеличения порового давления.

**Практическая значимость** результатов, представленных в диссертации, состоит в определении диапазонов вариаций порового давления в неравномерно трещиноватом карбонатном коллекторе под влиянием длиннопериодных колебаний – земных приливов и относительно высокочастотных колебаний – сейсмическом воздействии удаленных

землетрясений. Создан и апробирован комплекс методов обработки измерений сейсмических, гидрогеологических и барометрических параметров, позволяющий оценивать фильтрационные свойства водонасыщенного коллектора.

Применение соискателем – С. М. Петуховой современных методов обработки больших объемов экспериментальных данных, использование апробированных измерительных методик и сопоставимость с данными, опубликованными в российских и зарубежных публикациях по теме исследований, обеспечивают **достоверность полученных результатов.**

При работе над диссертацией соискатель использовала научно-методический подход, который включает исследование фоновых фильтрационных параметров флюидонасыщенного коллектора в сопоставлении с реакцией флюидонасыщенного коллектора в напорных и слабонапорных условиях на сейсмическое воздействие.

Сформулированная соискателем **цель работы достигнута.** Научные положения достаточно полно доказаны. Решение поставленных задач основано на сводном анализе информативности методик, используемых для обработки экспериментальных данных. Результаты многолетнего прецизионного мониторинга уровня подземных вод, полученные на территории геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево», использованы для формирования базы данных гидрогеологических откликов на землетрясения, которые произошли в сейсмически активных поясах Земли, и при моделировании реакции флюидонасыщенной системы на разные типы воздействий.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 10 печатных работах в научных журналах, материалах всероссийских и международных конференций. В их число входят 5 статей, представленных в журналах, входящих в **Перечень рецензируемых научных изданий**, рекомендованных ВАК РФ. В указанных публикациях приведены основные научные результаты диссертационной работы, которые прошли апробацию на 8 научных конференциях различного уровня – от молодежных до международных.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842).

Автореферат достаточно полно отражает содержание, основные идеи и выводы диссертации.

Вместе с тем по диссертационной работе можно сделать следующие замечания и обозначить вопросы:

- формулировка первого научного положения не до конца отражает его весьма содержательную научную значимость и больше выглядит как результат практической работы;

- в заключении диссертации не полностью отражены полученные результаты;

- отсутствует информация о геодинамической обстановке района расположения геофизической обсерватории ИДГ РАН при характеристике участка работ;

- отсутствует график (таблица), на основании которого определен приливной фактор и информация о длине ряда, который использовался при выделении основных типов приливных волн;

и обратить внимание на ряд технических замечаний:

- на рисунках 3.9, 3.10, 4.6 и 4.7 не приведена «расшифровка» пунктира, которая, вероятно, соответствует оценке погрешности и показана на диаграммах фазового сдвига представленных рисунках 9 и 10 в автореферате;

- в тексте и в подписи к рис. 3.20 ошибочно приведено сочетание «по типам гидрологических откликов» вместо «по типам гидрогеологических откликов».

Несмотря на сделанные замечания, считаю, что диссертационная работа Петуховой Софии Максимовны «ВАРИАЦИИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КАРБОНАТНОГО КОЛЛЕКТОРА ПРИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОМ И СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ (ПО ДАННЫМ ГФО «МИХНЕВО»)), выполнена на актуальную тему, обладает новизной, является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 «Геофизика», а ее автор заслуживает присуждения искомой научной степени.

Профессор кафедры «Экология и безопасность  
горного производства» Федерального государственного  
автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный  
исследовательский технологический университет  
«МИСиС», докт. техн. наук  
119049, г. Москва, Ленинский пр., д. 4.  
batugin.as@misis.ru

  
А.С. Батугин  
9.01.2024



Председателю Диссертационного совета  
Института динамики геосфер имени  
академика М. А. Садовского РАН  
24.1.059.01  
АДУШКИНУ Виталию Васильевичу

Я, Батугин Андриан Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.1.059.01 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН), и их дальнейшую обработку.

« 9 » января 2024 г.

 А. С. Батугин