

*На правах рукописи*



**Кузьмина Елена Александровна**

**ВЗАИМОСВЯЗЬ АЗОТНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД И РАЗЛОМНОЙ  
ТЕКТОНИКИ БАРГУЗИНО-БАУНТОВСКОЙ ВЕТВИ ВПАДИН  
БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ**

Специальность – 1.6.6. Гидрогеология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт земной коры СО РАН (ФГБУН ИЗК СО РАН, г. Иркутск).

**Научный руководитель:**

**Бычинский Валерий Алексеевич**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии окружающей среды и физико-химического моделирования Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ФГБУН ИГХ СО РАН) и доцент кафедры геологии нефти и газа геологического факультета Иркутского государственного университета (ФГБОУ ВО ИГУ), г. Иркутск

**Официальные оппоненты:**

**Лепокурова Олеся Евгеньевна**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии, директор Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ТФ ФГБУН ИНГТ СО РАН), г. Томск

**Чернявский Михаил Константинович**, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (ФГБУН ГИН СО РАН), г. Улан-Удэ

**Ведущая организация:**

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (ФГБУН ИМГиГ ДВО РАН), г. Южно-Сахалинск

Защита диссертации состоится 5 октября 2023 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета 24.1.062.01 при Институте земной коры СО РАН (ФГБУН ИЗК СО РАН) по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова 128, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского научного центра СО РАН в здании Института земной коры СО РАН и на сайте: <http://crust.ru/images/upload/newsfull229/3851.pdf>.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные подписью и печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю диссертационного совета к.г.-м.н. Бабичевой Виктории Аркадьевне. Тел: +79148816658, e-mail: khak@crust.irk.ru

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.г.-м.н.



В.А. Бабичева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Район, объект и предмет исследований.** Баргузино-Баунтовская ветвь впадин находится в пределах Баргузино-Витимского сводового поднятия, часть которого располагается в пределах Байкальской рифтовой системы (БРС) и характеризуется повышенными значениями теплового потока, наличием активных разломов и термальных источников. Термальные источники – это одно из проявлений современных геодинамических процессов и их изучение позволяет судить об эволюции более глубоких слоев земной коры, а также слоев верхней мантии (от границы Мохо до кровли астеносферы и астеносферы).

В работе объектами исследования являются азотные термальные источники, активные разломы и рои землетрясений Баргузино-Баунтовской ветви впадин. Предмет исследования – закономерности влияния сейсмически активной разломной тектоники на пространственное распределение, количество, температуру и химический состав выходов современных гидротерм.

**Актуальность данной работы.** Баргузино-Баунтовская ветвь впадин представляет интерес для изучения, так как к ней приурочено большое количество современных гидротерм, связанных с процессами рифтогенеза [Зорин, Турутанов, 2004; Лысак, 2002; Petit, Déverchère, 2006].

Актуальность данной работы определяется необходимостью выявить вероятную связь параметров разломной тектоники с количеством, температурой и химическим составом термальных источников, а также сейсмическим процессом, и оценить эту связь на количественном уровне. Изучение статистической связи между плотностью активных разломов, сейсмичностью и количественными и физико-химическими параметрами термальных источников позволяет получить новые данные о процессах, происходящих в литосфере, и открывает дополнительные возможности для прогнозирования новых проявлений термальных источников как бальнеологических ресурсов и как индикаторов скрытого оруденения.

В работе уделяется особое внимание районам с аномально высокой плотностью активных разломов. Под активными разломами, согласно определению А.А. Никонова [Никонов, 1995], понимаются тектонические нарушения геологических тел с признаками смещений на величину не менее 0.5–1.0 м в течение последних сотен тысяч лет. Ранее плотность активных разломов, как всех, так и активных, для территории БРС и отдельных ее частей, определялась в работах [Шерман, 1977, 2014; Геология и сейсмичность..., 1984б; Лобацкая, 1987; Лухнёва, 1999; Леви и др., 1999; Шерман и др., 2007аб]. Взаимосвязь разломной тектоники и термальных источников, а также приуроченность локализации выходов подземных вод к местам пересечения разломных структур для БРС освещалась в публикациях [Геология и сейсмичность..., 1984а; Кустов, Лысак, 2000; Лысак, 2002; Шабныин и др., 2002; Плюсин, Чернявский, 2006; Плюсин и др., 2013]. Однако, количественной оценки связи плотности активных разломов с количеством и температурой гидротерм ранее не проводилось. В данной работе плотность активных разломов рассчитана для разных географических масштабов, что позволяет оценить связь тектонических нарушений, гидротермальных проявлений и сейсмичности на разных уровнях детализации.

Существует мнение, что следствием флюидных воздействий являются рои землетрясений, то есть за движущимся флюидом идёт фронт разрушения, который, возможно, вызывает эти роевые события [Parotidis et al., 2003]. Во многих работах отмечается взаимовлияние факторов разломной тектоники, сейсмичности и режима

подземных вод. Несмотря на это, для данного региона не проводились статистические расчеты, позволяющие количественно оценить статистическую связь роевых событий и гидротерм, вероятно оказывающих влияние на релаксационные свойства среды. Гипотеза возникновения роёв землетрясений в зонах с высокой степенью нарушенности разломами за счёт релаксации остаточных напряжений с участием флюидов впервые предложена в работе [Солоненко, Солоненко, 1987]. С целью выяснения степени взаимосвязи сейсмических событий и термальных проявлений в районах с сильной и небольшой плотностью разломов автором работы на примере БРС рассмотрены роевые события, большое скопление которых отмечается в северо-восточной части БРС, в совокупности с плотностью активных разломов и выходами термальных вод.

Также одним из путей изучения условий формирования современных гидротерм является реконструкция их химического состава с использованием физико-химического моделирования (ФХМ). Выявление закономерностей образования термальных источников позволяет уточнить генезис присутствующих в них химических элементов, что необходимо для понимания механизмов взаимодействия слоев земной коры и верхней мантии (процессы дегазации астеносферы и передача тектонических напряжений по упруго-пластичному механизму (stress transfer)). ФХМ активно развивается с середины прошлого столетия, помогая воссоздать обстановку формирования химического состава термальной воды, и посмотреть, как протекает тот или иной процесс в системе вода-порода. Вклад в это направление внесли: Д.С. Коржинский [Коржинский, 1957, 1969], Г.Л. Пospelov [Пospelov, 1962а; Пospelov, 1971], Г. Хельгесон [Хельгесон, 1967; Helgeson, 1968], И.К. Карпов [Карпов, 1971, 1977, 1981], А.А. Маракушев [Маракушев, 1974], Y. Shimazu [Shimazu, 1967аb], С.Р. Крайнов [Крайнов и др., 2004], Б.Н. Рыженко [Рыженко и др., 1981], В.А. Бычинский [Бычинский и др., 2003, 2004; Бычинский, Коновалова, 2008], Ю.Н. Диденков [Диденков и др., 2003аb, 2004бв], С.Х. Павлов, К.В. Чудненко [Павлов, Чудненко, 2013], Е.П. Шевко [Шевко, 2018], В.А. Алексеев [Алексеев и др., 2005], С.Л. Шварцев [Шварцев и др., 2007], В.Н. Шарапов [Шарапов и др., 2012], М.В. Мищенко [Мищенко, 2013], О.Е. Лепокурова [Лепокурова и др., 2020].

В публикации [Данилова, 2010] представлены результаты ФХМ состава гидротерм района Северо-Муйского тоннеля. В связи с тем, что ФХМ химического состава термальных источников Баргузино-Баунтовской ветви впадин не проводилось, автором диссертации проведено ФХМ состава термальных источников исследуемой территории для решения до сих пор открытого вопроса о формировании состава этих терм.

**Цель работы** – выявить закономерности формирования азотных термальных вод Баргузино-Баунтовской ветви впадин БРС.

В данной работе изучались такие закономерности формирования гидротерм как: 1) геодинамическая обстановка кайнозойского рифтогенеза – тектонического растяжения в зонах активных разломов; 2) факторы: природно-климатические (рельеф местности, гидрографические особенности, климат), геолого-структурные (глубина проникновения разломов, степень активности разломов, кондуктивный тепловой поток, состав вмещающих пород), гидрогеологические (проницаемость вмещающей среды, интенсивность водообмена), физико-химические (температура, гидростатическое давление); 3) процессы растворения–осаждения: растворения, выводящие растворенные вещества из раствора, сочетающие воспроизводство и поглощение растворенного вещества, переноса вещества по механизму фильтрационного массопереноса.

**Задачи исследований:** 1) оценить пространственную связь количества современных гидротерм и их температуры со степенью нарушенности земной коры активными разломами для БРС и Баргузино-Баунтовской ветви впадин; 2) выявить закономерности

пространственной взаимосвязи термальных вод и разломной тектоники с сейсмичностью в пределах Баргузино-Баунтовской ветви впадин; 3) с помощью ФХМ определить роль активных разломов в процессе поступления химических элементов в воду термальных источников Баргузинской впадины.

**Научная новизна.** Впервые для региона выявлены закономерности взаимосвязи состава и температуры термальных вод, тектонических и сейсмических процессов. Установлена положительная корреляция между плотностью активных разломов и количеством современных гидротерм и отрицательная – между плотностью активных разломов и температурой термальных вод. Максимальное количество роев землетрясений и термальных источников с высокой и средней температурой отмечается на плотности активных разломов выше среднего значения, но не максимальной.

Для данной территории существует дискуссионный вопрос, касающийся глубины источника поступления химических элементов. С помощью ФХМ получены новые данные в пользу мантийного генезиса химических элементов, а также обоснована роль активных разломов в этом процессе в качестве подводящих каналов для поступления некоторых химических элементов из слоев верхней мантии.

**Защищаемые положения:** 1) количество выходов современных гидротерм и их температура зависят от степени раздробленности земной коры активными разломами. Зонам пониженной плотности активных разломов свойственны редкие более горячие выходы термальных вод, а повышенной плотности – большее количество менее горячих выходов гидротерм; 2) максимальное количество роев землетрясений и термальных источников района Баргузино-Баунтовской ветви впадин приурочено к зонам повышенной нарушенности земной коры активными разломами, характерным для границ консолидированных блоков земной коры; 3) исследование состава растворов, формирующихся в процессе физико-химических взаимодействий воды с породами кислого и основного состава показало, что содержание в термах установленных количеств серы, хлора и фтора не может обеспечиваться водовмещающими породами, а предполагает дополнительный источник их привноса из астеносферы по глубоким разломам.

**Практическая значимость работы.** Полученный цифровой материал может служить фактической основой в исследованиях с применением геоинформационных технологий (в геомоделировании).

Выделение участков повышенной плотности активных разломов с выходами современных гидротерм, соответствующих зонам активных глубоких разломов, разграничивающих блоки земной коры, позволяет определять места вероятного возникновения роев землетрясений.

Подготовленные физико-химические модели могут применяться для исследования вод других термальных источников, в том числе, гидротерм других территорий, с целью уточнения состава нижней коры, верхней мантии и выявления закономерностей в процессах взаимодействия различных слоев литосферы с участием флюидов.

В поисковой геологии (например, при установлении генезиса микроэлементов в подземных водах районов рудных месторождений) применение может найти моделирование процесса преобразования минеральных фаз в системе «вода – горные породы», исходя из предполагаемых сценариев взаимодействия или смешения, при известном химическом составе поступающего раствора и характере изменения его состава.

**Фактический материал.** Плотность активных разломов БРС рассчитана с использованием электронной карты активных разломов [Лунина, 2016]. Данные о географическом расположении термальных источников и их характеристиках приводятся

из специализированной литературы, в частности по [Ткачук и др., 1957; Минеральные воды..., 1962]. В диссертации использованы данные о величинах теплового потока БРС [Лысак, 1988, 2002; Голубев, 2007] и геотермического градиента [Лысак, 2002].

В полевых условиях на месте отбора проб воды проводились измерения показателя кислотно-щелочных свойств воды (рН) и температуры воды (t). Содержание макроэлементов в воде определяли классическими химическими методами, а концентрации микроэлементов – методом ICP MS в институте геохимии СО РАН. Во время отбора проб воды для анализа на макроэлементы воду отбирали в пластиковые бутылки объемом 1 л, а для анализа на микроэлементы шприцом забирали 10 мл воды в пробирку, пропуская ее через мембранные фильтры с диаметром пор 0.2 мкм для отделения взвеси микрочастиц.

Данные по гидрогеологическому разрезам были получены из фондовых материалов Бурятского филиала ФБУ «ТФГИ по Сибирскому федеральному округу», кроме того, использованы материалы из научного отчета [Сашенко, 2013], монографической научной литературы.

**Личный вклад автора.** Автором осуществлен сбор и анализ фактического материала во время полевых работ в Баргузинской впадине, анализ взаимосвязи активной тектоники и термальных источников рассматриваемого района, физико-химическое моделирование процесса формирования химического состава термальной воды при участии осадочных, магматических пород (гранитов, базитов) и дополнительного источника поступления серы, хлора, фтора. Составлена база данных, зарегистрированная в системе CrossRef [Kuzmina, 2022], содержащая информацию о термальных источниках с их координатами, включая абсолютные отметки высот, тип воды, минерализацию воды, температуру воды, дебит, рН, химический состав воды, дату обследования термальных вод и литературные источники.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается полевыми материалами, результатами статистического анализа и физико-химического моделирования состава воды.

**Апробация работы.** Основные результаты докладывались на следующих молодежных, Всероссийских, международных конференциях и совещаниях: Третья Сибирская международная конференция молодых ученых по наукам о Земле, г. Новосибирск, 2006; XXII Всероссийская молодежная конференция, г. Иркутск, 2007; Девятая Уральская молодежная научная школа по геофизике, г. Екатеринбург, 2008; Всероссийская научно-техническая конференция «Геонауки», посвященной 110-летию со дня рождения профессора С.А. Вахромеева и 75-летию со дня рождения профессора Г.С. Вахромеева, г. Иркутск, 2009; XXIV Всероссийская молодежная конференция, г. Иркутск, 2011; Всероссийская научная конференция с международным участием, посвященная 100-летию С.Н. Иванова, г. Екатеринбург, 2011; Всероссийское совещание и молодежная школа по современной геодинамике, г. Иркутск, 2012; XXV Всероссийская молодежная конференция, г. Иркутск, 2013; IAH Central European Groundwater Conference, Szeged (Hungary), 2013; Всероссийская научно-практическая конференция, г. Москва, 2013; National Meeting on Hydrogeology. Flowpath 2014. IAH Italian Chapter, Viterbo (Italy), 2014; Совещание «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)», г. Иркутск, 2014; XXVI Всероссийская молодежная конференция, г. Иркутск, 2015; XXVII Всероссийская молодежная конференция с участием исследователей из других стран, г. Иркутск, 2017.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 23 работы, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах. Материалы диссертационной работы были представлены на 17 Международных и Всероссийских научно-технических конференциях и совещаниях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, постановки проблемы, четырех глав, заключения, литературы, приложения общим объемом 230 страницы печатного текста, включая 18 таблиц, 49 иллюстраций, из которых в приложении содержится 5 таблиц и 3 иллюстрации.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность своему научному руководителю к.г.-м.н., с.н.с. лаб. геохимии окружающей среды и физико-химического моделирования ФГБУН ИГХ СО РАН им. А.П. Виноградова, доц. каф. геологии нефти и газа геологического факультета ФГБОУ ВО ИГУ В.А. Бычинскому. За проведение анализов с помощью гидрохимического и ИСР методов автор благодарит: сотрудника центра коллективного пользования «ОЦКП Ультрамикро-анализ» ФГБУН ЛИИ СО РАН Е.Н. Водневу, сотрудников аналитического отдела ФГБУН ИГХ СО РАН: С.Е. Чернигову, М.И. Арсенюк, Н.Д. Судакову, П.Т. Долгих, Л.Д. Андрулайтис, Н.Н. Пахомову, Л.Н. Матвееву, Е.В. Смирнову, О.В. Зарубину, И.Н. Мысовскую. За консультации автор благодарит к.г.-м.н., доцента Ю.Н. Диденкова и в.и. лаб. гидрогеологии ФГБУН ИЗК СО РАН Л.А. Дурбан, а также сотрудников лаб. современной геодинамики ФГБУН ИЗК СО РАН: к.г.-м.н., зав. лаб. В.А. Санькова, к.г.-м.н., н.с. А.В. Новопащину, к.г.-м.н., с.н.с. Я.Б. Радзиминовича, к.г.-м.н., н.с. О.Ф. Лухневу. Особая благодарность выражается за большое внимание к работе и помощи на финальном этапе ее выполнения сотруднику лаб. гидрогеологии ФГБУН ИЗК СО РАН к.г.-м.н., с.н.с. С.Х. Павлову. Также автор выражает искреннюю благодарность всем, кто верил в него.

### Геологическая характеристика района исследования

Исследуемая территория в тектоническом отношении расположена в пределах Баргузино-Витимского сводового поднятия (рис. 1). Под литосферой предполагается наличие разогретого мантийного вещества, которое обуславливает сводоподобное изостатическое воздымание цокольной поверхности рассматриваемого района исследований, а также задает морфологию поверхности [Уфимцев, 2002].

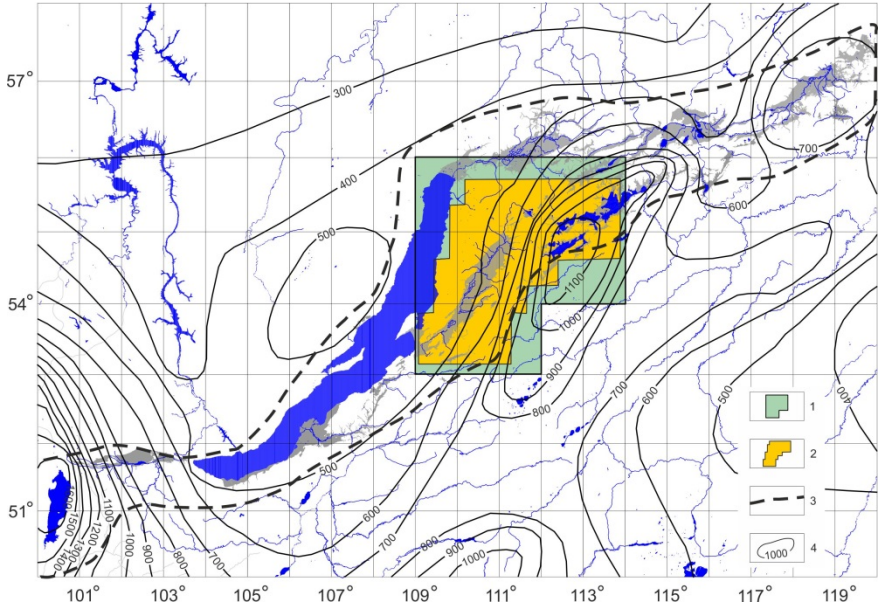


Рис. 1. Район исследований: 1 – контур района исследований для палетки с размером ячейки  $1 \times 1^\circ$ ; 2 – контур района исследований для палетки с размером ячейки  $0.37 \times 0.37^\circ$ ; 3 – граница БРС (по [Шерман, 1977]); 4 – изолинии цокольной поверхности (по [Уфимцев, 2002]).

На основе анализа гравиметрических данных [Petit, Déverchère, 2006] граница литосферы – астеносферы под исследуемым регионом выделяется на глубине 70–80 км. Мощность земной коры в районе исследования по данным [Мац и др., 2001; Шерман и др., 1992] составляет 35–42 км. На рассматриваемой территории выделяются региональные разломы северо-восточного простирания и менее крупные разломы северо-западного простирания. Кайнозойские разломы повторяют ориентировку древних разрывов. Генеральные и региональные разломы определяют структуру рифтовых впадин, а локальные разломы – внутреннее строение впадин и межвпадинных перемычек [Геология и сейсмичность..., 1984б]. Генетический тип большинства активных разломов характеризуется как сбросы, сбросо-сдвиги, сдвига-сбросы, сдвиги, иногда надвиги [Замараев и др., 1979]. Для Баргузино-Витимского региона эпицентрального поля проходит по Баргузинскому бассейну, Икатскому хребту до зарождающейся Ципа-Баунтовской впадины [Radziminovich et al., 2013]. Эпицентры землетрясений вытягиваются



согласно простиранию рифтовых структур [Мельникова и др., 2003]. Поле эпицентров характеризуется наличием концентраций эпицентров землетрясений в рифтовых впадинах и межвпадинных перемычках и линейно-вытянутыми скоплениями эпицентров землетрясений в зонах влияния крупных разломов [Кочетков и др., 1977]. В горных массивах Баргузинского, Икатского хребтов регистрируются обособленные группы роевых землетрясений (энергетический класс землетрясений,  $K_{\max} \leq 13.5$ ) за период 2001–2006 гг. [Мельникова и др., 2009]. Роевая активность происходит более часто, чем на всей остальной территории БРС [Солоненко и Солоненко, 1987].

По мнению исследователей [Логачёв, Флоренсов, 1977; Лут, 1978; Тектоника и сейсмичность..., 1978; Логачёв, 2003] начальная точка развития БРС располагалась в районе современной дельты р. Селенги. По мере удаления от начальной точки возникновения рифта отмечается уменьшение величины теплового потока под впадинами БРС, включая Баргузинскую, с  $87 \pm 34$  мВт/м<sup>2</sup> до  $76 \pm 51$  мВт/м<sup>2</sup> [Голубев, 1982]. С обрамляющими Баргузинскую впадину активными разломами, к которым приурочены повышенные значения теплового потока, связаны азотные термальные источники – слабоминерализованные щелочные минеральные воды, в газовом составе которых преобладает азот (90–99 %), также присутствуют: метан, кислород и инертные газы (рис. 2). Большую роль в формировании состава гидротерм играют следующие соединения азота:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  [Летников, 1968]. Фундамент впадины и её борта сложены изверженными, реже метаморфическими отложениями нижнего палеозоя и верхнего протерозоя [Флоренсов, 1960]. Ангаро-Витимский батолит мощностью 5–30 км прорывает вмещающие породы, состоящие в основном из рифейских гнейсов, сланцев и протерозойских терригенно-карбонатных пород. Осадочный чехол Баргузинской впадины, мощностью от первых сотен метров до 2 км, представлен кайнозойскими осадочными породами. В непосредственной близости от изучаемых термальных источников выделяются выходы базитовых даек, сходных по составу с базальтами Витимского вулканического поля площадью 7000 км<sup>2</sup> [Багдасарьян и др., 1981] и возрастом 18.5–0.6 млн лет [Расказов, Чувашова, 2018]. В работе [Носков, 2011] приведены датировки только по гранитным комплексам, а датировки по дайкам отсутствуют и указано только постбатолитовое время их формирования. Становление гранитного Гаргинского массива (одна из частей Ангаро-Витимского батолита) по уран-свинцовому методу, подтвержденному также рубидий стронциевым методом, произошло  $425 \pm 22$  млн лет назад.

### **Гидрогеологическая характеристика района исследования**

Согласно структурно-гидрогеологическому районированию в районе исследования выделяются: Баргузинский гидрогеологический бассейн, Икатский, Баргузинский гидрогеологические массивы и обводненные разломы. В пределах Баргузинского гидрогеологического бассейна наибольшую водообильность имеет современный аллювий, где дебит скважин достигает 9.2 л/с, а коэффициент фильтрации – 30.9 м/сут. Пестрая водообильность характерна для среднечет-вертичных водно-ледниковых и озерных отложений, – скважины – от безводных до обводненных (8.2 л/с). По химическому составу воды – гидрокарбонатные, гидро-карбонатно-сульфатные, гидрокарбонатно-хлоридные с различным составом катионов. Минерализация воды – 0.1–0.6 г/дм<sup>3</sup> [Замана и др., 1973; Тугаринов и др., 1980]. В связи с различием условий распространения и формирования подземных вод гидрогеологические массивы разделяются на высокогорные, среднегорные

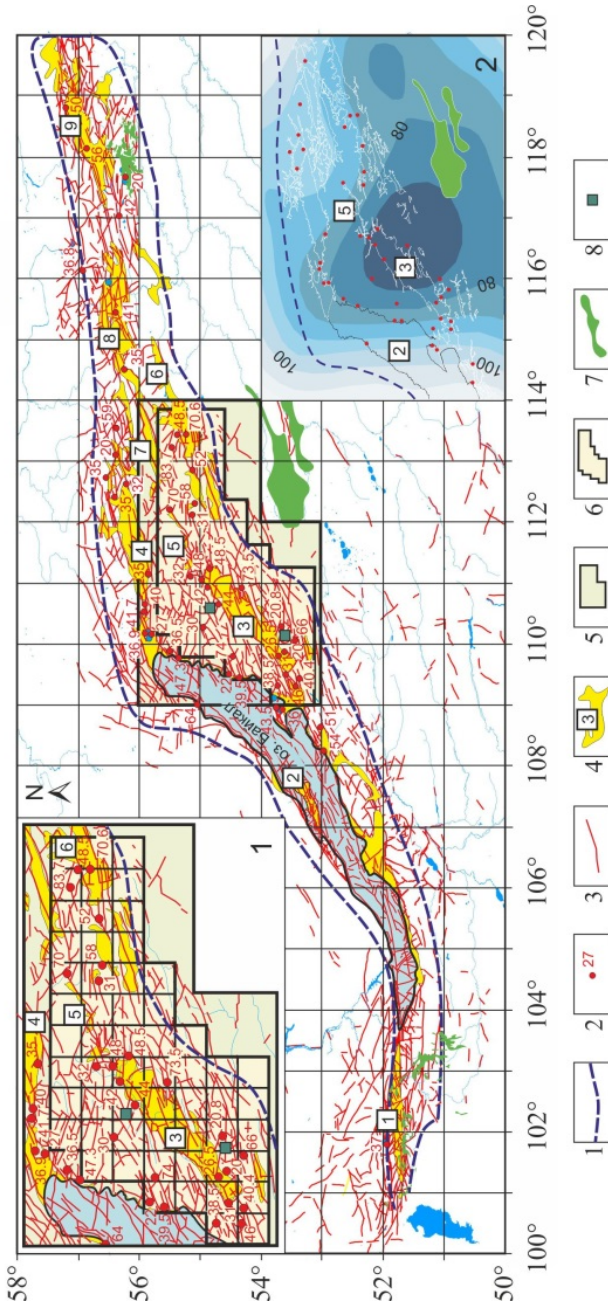


Рис. 2. Карта активных разломов и термальных вод БРС (по материалам [Лунина, 2016] с добавлениями автора): 1 – контур БРС, 2 – термальный источник (цифра возле знака – температура воды термального источника), 3 – активный разлом, 4 – впадины с их номерами (в квадратах: 1 – Тункинская, 2 – Байкальская, 3 – Баргузинская, 4 – Верхнеангарская, 5 – Амурская, 6 – Баунтовская, 7 – Муянская, 8 – Муйская, 9 – Чарская), 5 – контур Баргузино-Баунтовской ветви впадин для палетки с размером ячейки  $1 \times 1^\circ$ , 6 – контур Баргузино-Баунтовской ветви впадин для палетки с размером ячейки  $0.37 \times 0.37^\circ$ , 7 – вулканические поля, 8 – пункты опробования даек основного состава. Врезка 1 – увеличенный вариант Баргузино-Баунтовской ветви впадин для палетки с размером ячейки  $0.37 \times 0.37^\circ$ . Врезка 2 – граница литосферы-астеносферы, км [Reit, Déverchère, 2006].

и низкогорные структуры. Водообильность пород в пределах гидрогеологических массивов различная, что обуславливается неравномерной трещиноватостью пород и разной глубиной промерзания. Так, в метаморфических породах дебиты родников изменяются от 0.3 до 60 л/с, а дебит скважин составляет 0.5 л/с; в разновозрастных гранитоидах дебиты родников – 0.01–1 л/с, а дебиты скважин – 0.4–1.6 л/с. В гидрогеологических массивах формируются разные по составу и минерализации воды – от ультрапресных с минерализацией воды менее 0.01 г/дм<sup>3</sup> (на приводораздельных участках, в крупноглыбовых каменных россыпях, свыше 1500 м) до подземных вод с минерализацией воды 0.05–0.3 г/дм<sup>3</sup> (на участках от приводораздельной до краевой части горных массивов). Химический состав воды преимущественно гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-сульфатный натриево-кальциевый. Обводненные разломы характеризуются трещинно-жилными водами, которые разделяются на воды: поверхностного, смешанного и глубинного дренирования. Воды поверхностного дренирования – это родники с температурой ниже 4–5 °С и с минерализацией воды, зависящей в основном от того, какие породы секут разломы: в гранитах она редко превышает 0.1 г/л, а при наличии в составе окружающих пород метаморфических образований, особенно известняков, минерализация вод повышается. Воды смешанного дренирования характеризуются родниками с температурой от 5 до 15 °С, минерализацией воды – 0.04–0.29 г/дм<sup>3</sup>, дебитом – 0.5–8 л/с. К водам глубинного дренирования относятся азотные термальные источники с температурой от 20 до 83.7 °С, дебитом – 0.03–100 л/с, минерализацией воды от 0.3 до 1.2 г/дм<sup>3</sup>, повышенными значениями рН (до 9.3). В газовом составе термальных источников преобладает азот (90–99 %), также присутствуют: метан, кислород и инертные газы. Азотные термальные источники исследуемой территории в зависимости от химического состава принадлежат к горячинскому (Алгинский источник), кульдурскому (Умхейский, Сенойский источники) и аллинскому (Аллинский источник) типам.

В диссертации представлена гидрогеологическая карта Баргузино-Баунтовской ветви впадин БРС, составленная по материалам [геологических карт М 1:200000, 1958–1977; Замана и др., 1966; Замана и др., 1973; Мельничук и др., 1980] с дополнениями автора.

## ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

**1. Количество выходов современных гидротерм и их температура зависят от степени раздробленности земной коры активными разломами. Зонам пониженной плотности активных разломов свойственны редкие более горячие выходы термальных вод, а повышенной плотности – большее количество менее горячих выходов гидротерм.**

Проведен статистический анализ взаимосвязи степени нарушенности земной коры активными разломами с параметрами термальных вод – количеством ( $n_{\text{терм}}$ ) и температурой термальных источников. Для анализа степени раздробленности земной коры использовалась плотность активных разломов, полученная с использованием электронной карты [Лунина, 2016] для разных географических масштабов в палетках  $1^\circ \times 1^\circ$  и  $0.37^\circ \times 0.37^\circ$  с перекрытием 50 %. Отметим, под плотностью активных разломов понимается количество активных разломов на единицу площади. Для того чтобы оперировать целыми числами было использовано общее количество разломов, попавших в ячейку палетки.

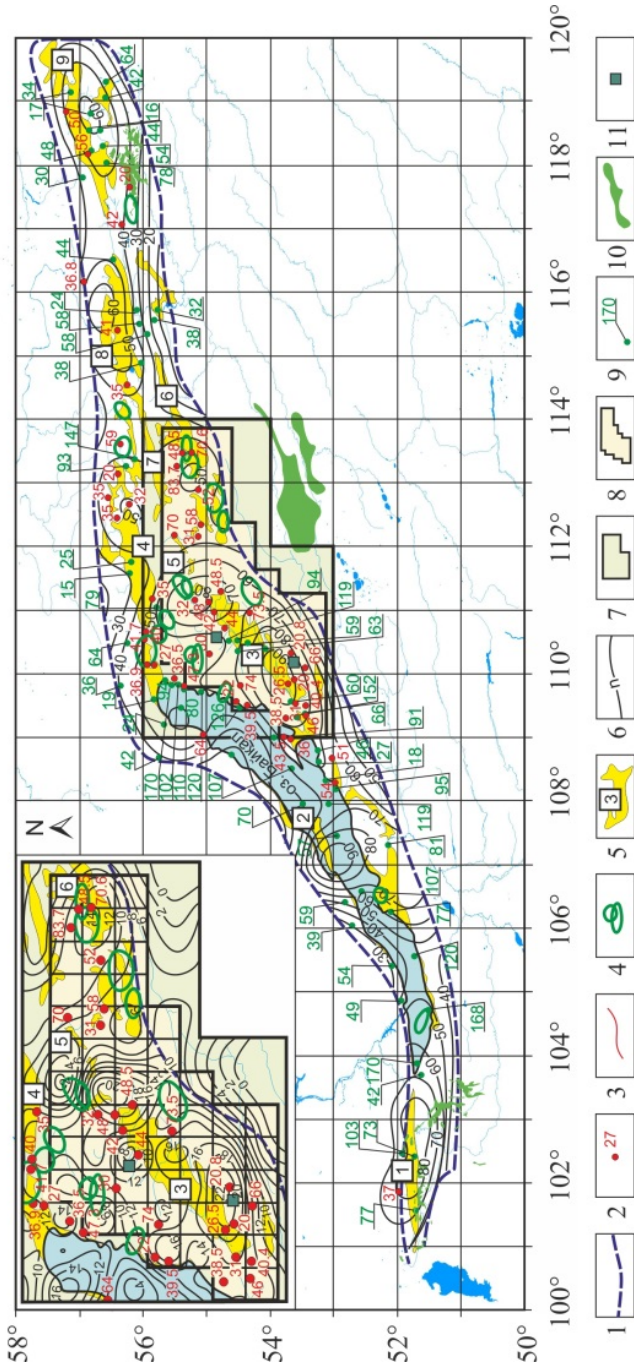


Рис. 3. Карта плотности активных разломов для палетки с размером ячейки  $1 \times 1^\circ$ , роев землетрясений и термальных источников БРС (по материалам [Голубев, 2007; Лунина, 2016] с добавлениями автора): 1 – контур БРС, 2 – термальный источник (цифра возле знака – температура воды термального источника), 3 – активные разломы, 4 – рои землетрясений, 5 – впадины БРС с их номерами (в квадратах: 1 – Тукинская, 2 – Байкальская, 3 – Баргузинская, 4 – Верхнеангарская, 5 – Амутская, 6 – Баунтовская, 7 – Мужанская, 8 – Муйская, 9 – Чарская), 6 – изолинии плотности активных разломов (п), 7 – контур Баргузино-Баунтовской ветви впадин для палетки с размером ячейки  $1 \times 1^\circ$ , 8 – контур Баргузино-Баунтовской ветви впадин для палетки с размером ячейки  $0.37 \times 0.37^\circ$ , 9 – пункты определения теплового потока с их значениями ( $\text{мВт}/\text{м}^2$ ) [Голубев, 2007], 10 – вулканические поля, 11 – пункты опробования даек основного состава. На врезке – увеличенный вариант Баргузино-Баунтовской ветви впадин с обозначением изолиний плотности активных разломов (п) для палетки с размером ячейки  $0.37 \times 0.37^\circ$ .

Палетка  $1 \times 1^\circ$  использована для надежного покрытия основного числа разломов (рис. 3). Размер ячеек палетки  $41 \times 41$  км (в градусной мере –  $0.37 \times 0.37^\circ$ ) не превышает мощности земной коры, составляющей под исследуемой территорией около 41 км [Мац и др., 2001], соответствует размеру структурных блоков и масштабу проникновения активных разломов на глубину (рис. 3).

Анализ распределения количества термальных источников по плотности активных разломов показал, что это количество достигает максимума в диапазоне плотности активных разломов 12–13 (в палетке с размером ячейки  $0.37 \times 0.37^\circ$ ) (рис. 4). Плотность активных разломов не нормируется на площадь, чтобы не оперировать дробными величинами [Геология и сейсмичность..., 19846].

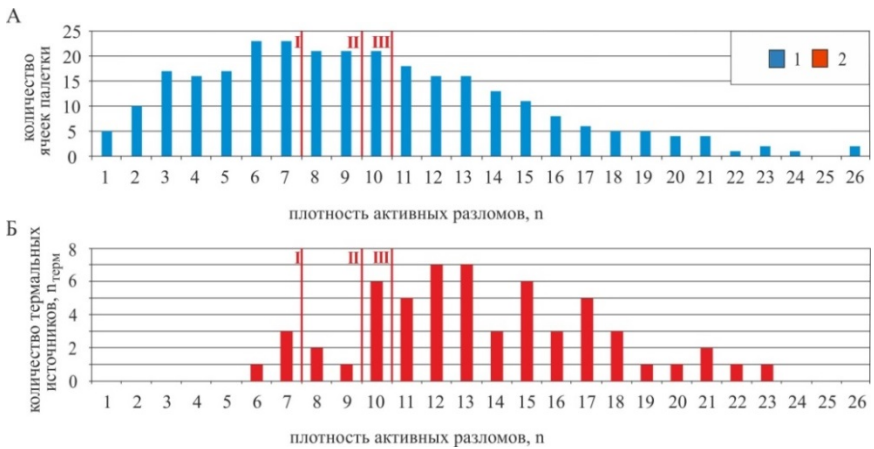


Рис. 4. Гистограммы распределения: А – количества ячеек палетки  $0.37 \times 0.37^\circ$  по плотности активных разломов ( $n$ ), Б – количества термальных источников ( $n_{\text{теpm}}$ ) по плотности активных разломов ( $n$ ): I – модальное значение  $n$ , II – медианное значение  $n$ , III – среднее значение  $n$ ; 1 – количество ячеек каждой плотности активных разломов  $n$ , 2 – термальные источники. Территория всей БРС.

Для установления статистической связи между плотностью активных разломов и такими параметрами как количество и температура термальных источников, были рассчитаны корреляционные зависимости. Для территории Баргузино-Баунтовской ветви впадин результаты корреляционного анализа показали значимую положительную статистическую связь плотности активных разломов с количеством термальных источников (рис. 5) и значимую отрицательную корреляцию между плотностью активных разломов и температурой термальных источников, как средней, так и максимальной (рис. 6, А, Б).

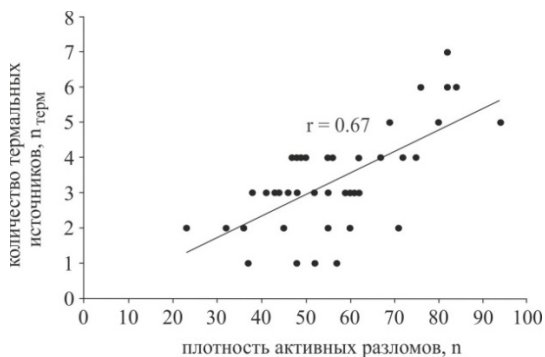


Рис. 5. Корреляционная зависимость количества термальных источников ( $n_{\text{терм}}$ ) от плотности активных разломов ( $n$ ) для района Баргузино-Баунтовской ветви впадин для палетки с размером ячейки  $1 \times 1^\circ$  с наложением 50 %.

Таким образом, установлено, что с увеличением плотности сети разломов увеличивается количество термальных источников (рис. 5), но падает их температура (рис. 6) [Kuz'mina, Novopashina, 2018].

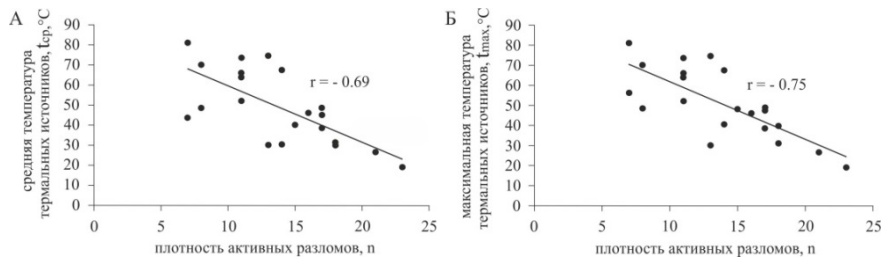


Рис. 6. Корреляционная зависимость средней ( $t_{\text{cp}}$ ) (А) и максимальной ( $t_{\text{max}}$ ) (Б) температуры термальных источников от плотности активных разломов ( $n$ ) для района Баргузино-Баунтовской ветви впадин для палетки с размером ячейки  $0.37 \times 0.37^\circ$ .

**Выводы.** Горячие термальные источники преобладают в зонах с низкой плотностью разломов, поскольку процессы разбавления (рассеяния) менее интенсивны, и, следовательно, выше сохранность тепла. Более плотная сеть разломов обеспечивает лучшую водопроницаемость и в таких условиях термальная вода более интенсивно рассеивает тепло, смешиваясь с артезианскими и грунтовыми водами, поэтому на поверхности в наиболее трещиноватых зонах наблюдается большее количество выходов термальной воды с более низкой температурой.

## **2. Максимальное количество роёв землетрясений и термальных источников района Баргузино-Баунтовской ветви впадин приурочено к зонам повышенной нарушенности земной коры активными разломами, характерным для границ консолидированных блоков земной коры.**

В современных геодинамических процессах с участием активных разломов вода играет немаловажную роль в формировании тектонических структур земной коры. Проникая в трещины, вода может снижать прочность пород и коэффициент межблокового трения, одновременно являясь триггером землетрясений в широком диапазоне энергий и способствуя релаксации напряжений в области очага [Псахье и др., 2004]. Существует мнение, что следствием флюидных воздействий являются рои землетрясений, то есть за движущимся флюидом идёт фронт разрушения, который, возможно, вызывает эти роевые события [Parotidis et al., 2003]. Гипотеза возникновения роёв землетрясений в зонах с высокой степенью нарушенности разломами за счёт релаксации остаточных напряжений с участием флюидов впервые предложена в работе [Солоненко, Солоненко, 1987].

В данной работе рассмотрена статистическая связь сейсмотектоники и проявлений гидротерм. Особое внимание уделено пространственной взаимосвязи плотности активных разломов, термальных источников и роевых событий БРС, большое количество которых отмечается в северо-восточной части БРС (см. рис. 3). Проведено сопоставление плотности активных разломов ( $n$ ) с количеством термальных источников ( $n_{\text{терм}}$ ) и количеством роёв землетрясений ( $n_{\text{роев}}$ ).

В условиях повышенной степени нарушенности земной коры активными разломами в районе Баргузино-Баунтовской ветви впадин выделяются два основных максимума плотности разломов. Один из них расположен между Баргузинской и Амутской впадинами и в этой зоне сосредоточены термальные источники, такие как: Сеюйский, Кучигерский, Мегдылкон, Аллинский и Умхейский. Эта область характеризуется слабой и умеренной сейсмической активностью. Второй максимум находится в южной части Баргузинской впадины. Он характеризуется слабой сейсмической активностью. С ним связан Алгинский термальный источник. В зоне первого максимума от Амутского роя распространяется последовательность сейсмических событий небольшой силы.

По каждой плотности было суммировано количество попаданий роёв землетрясений в ячейки палетки и сопоставлено с количеством термальных источников. Сопоставление распределений показывает, что моды роёв землетрясений (черным) и термальных источников (красным) пересекаются в диапазоне плотности выше среднего значения. Но распределение роёв землетрясений смещено в сторону менее нарушенного пространства, а термальных источников – в сторону более нарушенного. В целом, рои землетрясений происходят в 1.5 раза реже в областях с гидротермами, но в диапазоне плотности 13–14 соотношение обратное. Эта плотность разломов характеризует граничные области трещиноватого и ненарушенного пространства. С роями землетрясений связаны термальные источники с высокой и средней температурой. Для более нарушенного пространства рои землетрясений не свойственны. В таких зонах происходят миграции сейсмической активности, представленные слабыми и умеренными событиями. Это область релаксации тектонических напряжений (рис. 7).

**Выводы.** Более горячие термальные источники и рои землетрясений приурочены к разломам, разграничивающим консолидированные блоки и межблочное пространство. Самая высокая плотность разломов, для которой характерны термальные источники, является областью релаксации тектонических напряжений и миграции сейсмической активности.



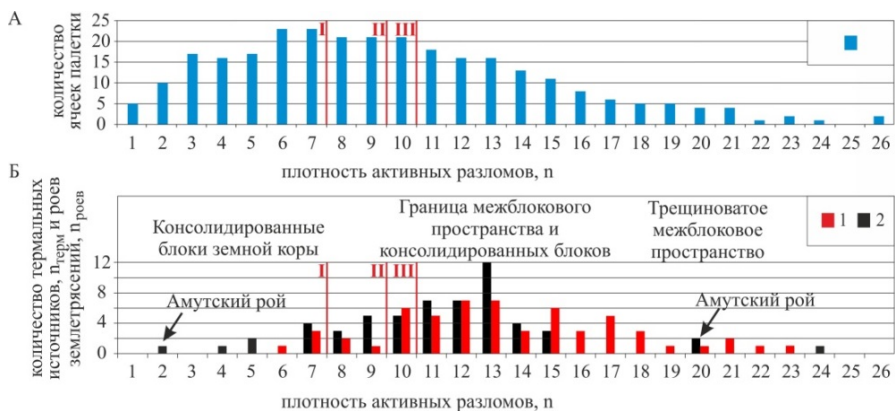


Рис. 7. Гистограммы распределения роев землетрясений и термальных источников по плотности активных разломов (n) для всей БРС для палетки с размером ячейки  $0.37 \times 0.37^\circ$ : А – распределение ячеек палетки размером  $0.37 \times 0.37^\circ$  по плотности активных разломов (n), Б – соотношение количества попаданий роев землетрясений,  $n_{\text{роев}}$ , (2) и количества термальных источников,  $n_{\text{терм}}$ , (1) в ячейку палетки. I – модальное ( $n=7$ ), II – медианное ( $n=9$ ) и III – среднее ( $n=9.8$ ) значения плотности активных разломов (n).

**3. Исследование состава растворов, формирующихся в процессе физико-химических взаимодействий воды с породами кислого и основного состава показало, что содержание в термах установленных количеств серы, хлора и фтора не может обеспечиваться водовмещающими породами, а предполагает дополнительный источник их привноса из астеносферы по глубоким разломам.**

Существуют две основные гипотезы формирования азотных терм в пределах Баргузино-Баунтовской ветви впадин БРС, по одной из которых химический состав гидротерм формируется только при взаимодействии атмосферной воды с породами [Шварцев и др., 2015], а по другой, допускается привнос в гидротермы некоторых химических элементов из глубинных флюидов [Ломоносов, 1974]. С помощью проведенного ФХМ, с применением программного комплекса «Селектор», реконструирован процесс формирования химического состава гидротерм Баргузинской впадины и получены дополнительные данные, позволяющие уточнить генезис фтора, хлора, серы в термальных источниках.

В ходе ФХМ были рассмотрены сценарии развития процесса формирования гидротерм, соответствующих первой и второй гипотезам. Первая гипотеза проверялась с использованием моделей взаимодействия дождевой воды с вмещающими породами (гранитами, блок-схема А и базитами, блок-схема Б). Модель взаимодействия породы с дождевой водой предполагала просачивание дождевой воды через трещины и разломы в земной коре до расчетных глубин формирования термальных источников (2.88–4.96 км), где она вступала в реакцию с изверженными породами (гранитами и базитами) (рис. 8).



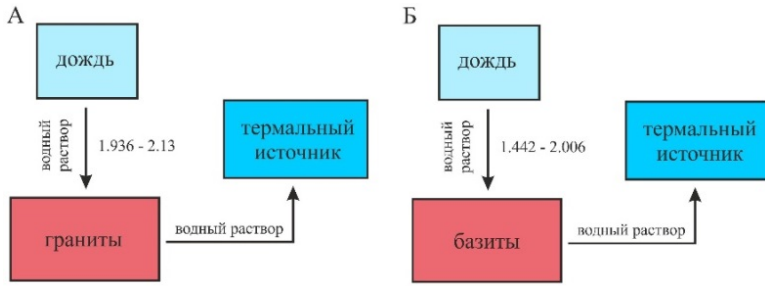


Рис. 8. А – блок-схема модели «граниты + дождь»; Б – блок-схема модели «базиты + дождь». Цифра возле стрелки – степень числа, определяющего пошаговое изменение степени протекания реакции (KSI, один из параметров в программном обеспечении «Селектор»)

Анализ результатов ФХМ показывает, что присутствие в термальной воде Алгинского, Аллинского, Сеюйского, Умхейского источников в значительных количествах хлора, серы, фтора не может быть обусловлено взаимодействием дождевых осадков как с гранитами (рис. 9), так и с базитами (рис. 10).

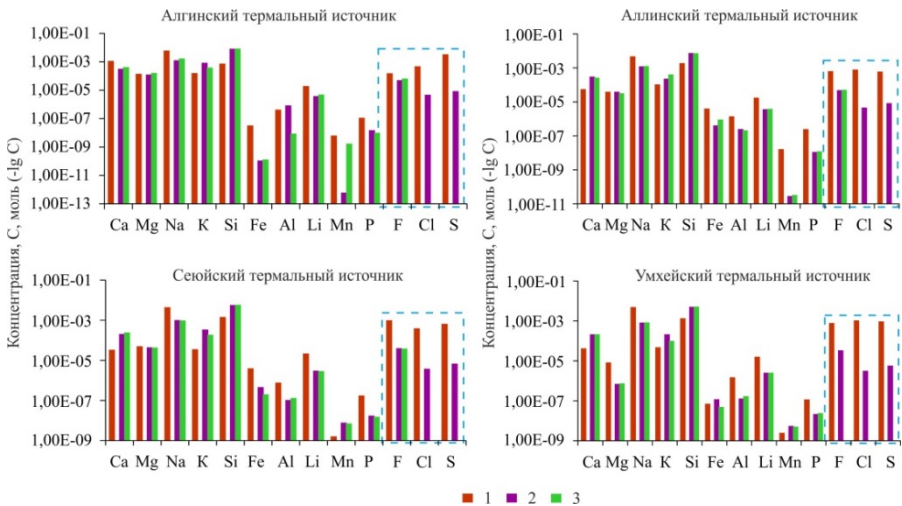


Рис. 9. Результаты моделирования в системе «граниты (с кларком и без кларка по Cl и S) + дождь»: 1 – реальный раствор; модельный раствор: 2 – «граниты (кларк по Cl, S) + дождь», 3 – «граниты (без кларка по Cl, S) + дождь».

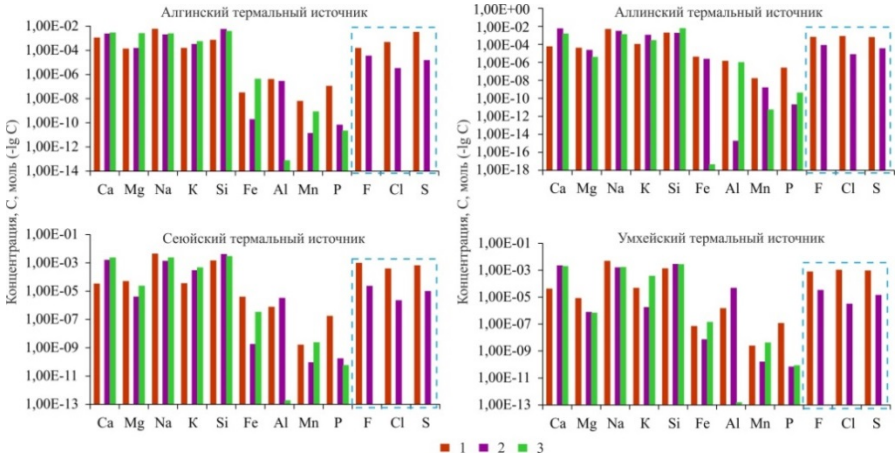


Рис. 10. Результаты моделирования в системе «базиты (с кларком и без кларка по F, Cl и S) + дождь»: 1 – реальный раствор; модельный раствор: 2 – «базиты (кларк по F, Cl, S) + дождь», 3 – «базиты (без кларка по F, Cl, S) + дождь».

Вторая гипотеза проверялась с использованием модели, включающей дополнительный источник фтора, хлора и серы. Предполагаемым дополнительным источником данных элементов могут выступать газопылевые компоненты астеносферного расплава (рис. 11).

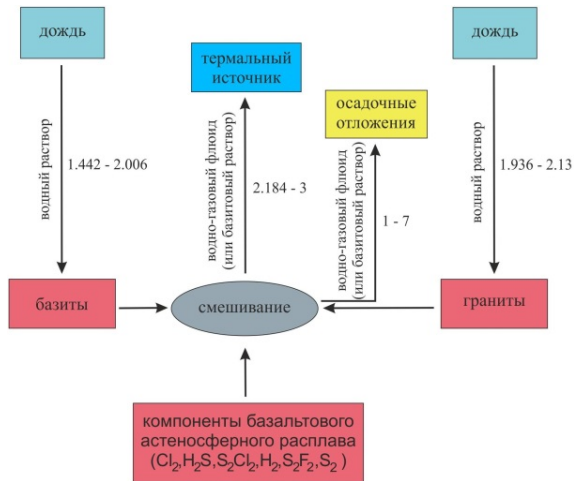


Рис. 11. Блок-схема модели «гранит + дополнительный источник», где газопылевые компоненты астеносферного расплава выступают как предполагаемый дополнительный источник хлора, серы, фтора. Цифра возле стрелки – степень числа, определяющего пошаговое изменение степени протекания реакции (KSI).

**Выводы.** Модельные расчеты показали, что рассчитанный равновесный состав термальных вод соответствует аналитическому составу только в том случае, когда существует дополнительный источник хлора, серы и фтора (рис. 12).

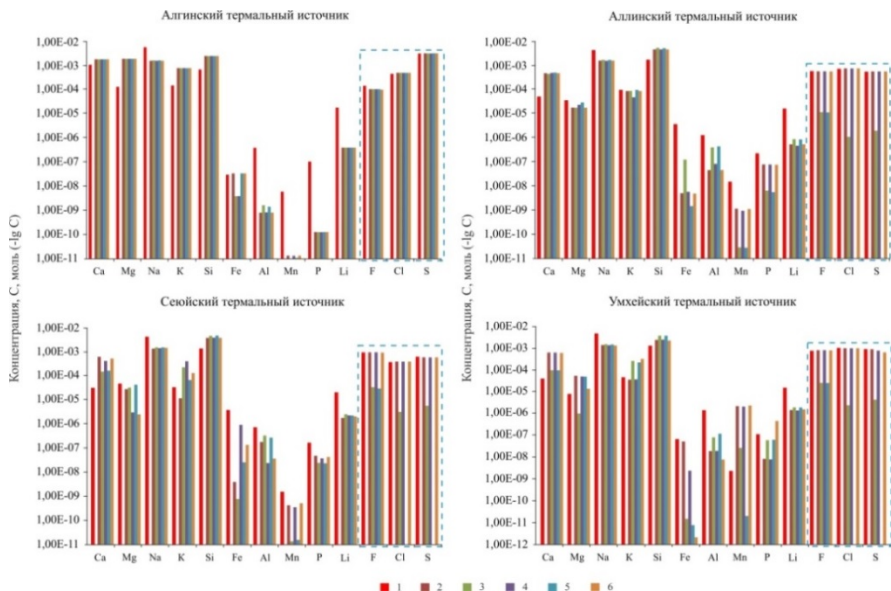


Рис. 12. Результаты моделирования в системе «флюид + граниты»: 1 – реальный раствор; модельный раствор: 2 – флюид (с F, Cl, S) + граниты (с F; кларком по S, Cl), 3 – флюид (без F, Cl, S) + граниты (с F; кларком по S, Cl), 4 – флюид (с F, Cl, S) + граниты (с F; нет кларка по S, Cl), 5 – флюид (без F, Cl, S) + граниты (с F; нет кларка по S, Cl), 6 – флюид (с F, Cl, S) + граниты (без F, S, Cl).

Высокое содержание фтора в термальном источнике (рис. 13), вероятно, могло быть обеспечено осадочными отложениями (в качестве примера были рассмотрены иловые отложения в месте выхода Алгинского термального источника), где его накопление в термальной воде протекало бы за счет выщелачивания водовмещающих осадочных отложений, что соотносится с результатами расчетов [Замана, 2000б; Плюснин и др., 2013], в соответствии с которыми алмосиликатные источники фтора являются основной причиной его высоких содержаний в термальном источнике. Однако, небольшая мощность осадочных отложений и недостаточное время взаимодействия воды с породой, возможно, не способствуют поступлению фтора в термальный источник из осадочных пород в том количестве, которое наблюдается в реальном растворе Алгинского термального источника. Исходя из этого, причиной повышенных содержаний фтора в гидротермах может служить водно-газовый флюид, содержащий в своем составе этот элемент. Поступая в термальный источник на его глубине формирования, водно-газовый флюид переносит фтор в гидротермальный раствор, который, в свою очередь, поднимаясь по разлому, возможно, в результате изменения давления и температуры при подъеме к земной поверхности, откладывает фтор в виде фторидных минеральных образований в зоне разлома.

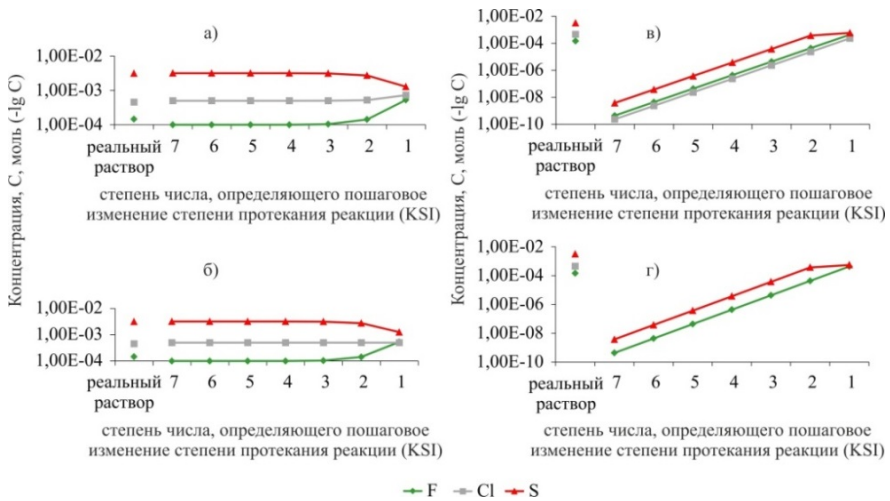


Рис. 13. Результаты моделирования в системе «флюид + осадочные породы» (район Алгинского термального источника): а) система «флюид (с F, Cl, S) + осадочные породы (с F, S и кларком Cl)», б) система «флюид (с F, Cl, S) + осадочные породы (с F, S и без кларка Cl)», в) система «флюид (без F, Cl, S) + осадочные породы (с F, S и кларком Cl)», г) система «флюид (без F, Cl, S) + осадочные породы (с F, S и без кларка Cl)».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структура сети плотности разломов отражает гетерогенность земной коры БРС. Минимальная плотность разломов связана с консолидированными блоками земной коры. Здесь происходят сильные сейсмические события и небольшое количество роев землетрясений. Статистические расчеты, проведенные для территории БРС и Баргузино-Баунтовской ветви впадин, позволили установить закономерное увеличение количества термальных источников при повышении степени трещиноватости земной коры и снижение их температуры вследствие разбавления термальной воды в более нарушенной среде водами близповерхностных водоносных горизонтов.

Области, характеризующиеся значениями плотности разломов от средних до высоких, разделяют трещиноватое межблочное пространство и консолидированные блоки. С этими значениями плотности разломов связаны глубинные разломы, основное количество роев землетрясений, повышенные значения теплового потока, более редкие термальные источники преимущественно с высокой и средней температурой. В этих зонах моды распределений термальных источников и роев землетрясений по плотности разломов совпадают. Зоны с высокой плотностью разломов являются межблочным пространством и характеризуются меньшим количеством роев землетрясений, рассеянным тепловым полем и концентрациями множественных термальных источников со средней температурой.

Глубинные разломы, достигающие границы Мохоровичича и, возможно, больших глубин, могут служить транзитными зонами поступления некоторых химических элементов, в том числе хлора, серы, фтора, в верхнюю часть разреза, что может быть причиной повышенного содержания в термальной воде этих элементов.

ФХМ позволило реконструировать процесс формирования химического состава термальной воды при взаимодействии атмосферной воды с магматическими (гранитами, базитами) и осадочными породами, а также при поступлении фтора, серы и хлора из дополнительного источника. Кларковые значения серы и хлора в магматических породах (гранитах и базитах) не достигают величин, обеспечивающих измеренные содержания этих элементов в водных растворах Аллинского, Алгинского, Умхейского и Сеюйского термальных источников. Введение в модель серы, хлора, фтора показало соответствие модельного раствора реальному, что наряду с данными по изотопному составу серы ( $\delta^{34}\text{S} = 28.7$  CDT, [Плюснин и др., 2020]), говорит об их глубинном происхождении. Хлор, имеющий с серой схожий генезис, также может поступать в термы в форме газовых эманаций из слоев мантии. На определяющую роль разломов в формировании гидротерм указывают результаты А.М. Плюснина с коллегами [Плюснин и др., 2008], которые выдвигают гипотезу о поступлении серы и хлора из минералов, отложившихся в разломах на раннем этапе рифтогенеза. Однако, авторами этой гипотезы не было проведено моделирование процесса поступления серы и хлора, результаты которого доказывали бы привнос серы и хлора из сульфатных и хлоридных минералов. Таким образом, результаты ФХМ согласуются с данными других исследователей формирования химического состава азотных терм Баргузинской впадины и дополняют аргументы в пользу глубинного источника поступления некоторых химических элементов.

Хотя результаты моделирования показали хорошее соответствие реального и модельного содержания фтора в осадочных породах, присутствующих в разрезе Алгинского термального источника, эти отложения, возможно, не могут являться источником фтора в этой термальной воде из-за небольшой мощности осадочной толщи (примерно 100 м) и недостаточного времени взаимодействия воды с породой. Поступление фтора, видимо, связано непосредственно с самим гидротермальным раствором, который насыщается данным элементом на глубине своего формирования при взаимодействии с газовыми компонентами восходящих мантийных потоков.

Повышенные концентрации фтора в термах Баунтовской впадины по сравнению с термальными источниками в Баргузинской впадине, возможно, могут быть связаны с активным развитием впадины, характеризующейся высокой сейсмической активностью и высокими значениями теплового потока, а также со слабым разбавлением термальной воды в зоне интенсивного водообмена подземными водами вышележащих водоносных горизонтов и поверхностными водами. Высокие содержания фтора в Баунтовской группе терм, возможно, объясняются еще и тем, что при подъеме к дневной поверхности термальные растворы не осаждают фтор на определенной глубине при изменении термодинамических условий, в отличие от Баргузинских терм, а выносят его в тех концентрациях, которые он приобрел на глубине формирования термального источника.

Рассмотренные термальные источники формируются в разных климатических условиях и характеризуются различными гидрогеологическими особенностями верхней гидродинамической зоны, что обуславливает наблюдаемую разницу в минерализации термальной воды. Результаты ФХМ свидетельствуют о схожести условий формирования химического состава термальных источников на глубине их заложения. Такими общими для всех источников факторами являются тектоническое строение и перенос тепла в пределах разрывных нарушений. Глубинность и высокий угол падения активных разломов в сочетании с высокими значениями теплового потока определяют высокую скорость водообмена в конвективных ячейках, соответствующую непродолжительному времени взаимодействия воды с вмещающими породами. Повышенная плотность разломов способствует интенсивному разбавлению водами верхней гидродинамической зоны гидро-

термальных растворов Баргузинской впадины, образованных на глубине формирования. Таким образом, разломная тектоника является одним из основных факторов формирования химического состава гидротерм Баргузинской впадины и ее горного обрамления.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в рецензируемых журналах

**Кузьмина Е.А.** Результаты анализа состава современных гидротерм центральной части Байкальской рифтовой системы / **Е.А. Кузьмина**, Ю.Н. Диденков // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2011. – № 2 (39). – С. 159–169.

**Kuz'mina E.A.** Physico-chemical model as a tool to explain the composition of thermal waters in tectonically active regions / **E.A. Kuz'mina**, S.V. Veshcheva, O.V. Zarubina, N.V. Brianskii // Italian Journal of Groundwater (Acque Sotterranee). – 2015. – V. 4. – No. 2. – AS13061. – P. 7–17. – doi: 10.7343/as-109-15-0136.

Новопашина А.В. Плотность разломов земной коры и термальные источники в зоне миграции сейсмической активности области Амурского роя землетрясений (северо-восточный фланг Байкальской рифтовой системы) / А.В. Новопашина, **Е.А. Кузьмина** // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2017. – Т. 20. – С. 81–90.

**Kuz'mina E.A.** Groundwater outflows and fault density spatial relation in the Baikal rift system (Russia) / **E.A. Kuz'mina**, A.V. Novopashina // Italian Journal of Groundwater (Acque Sotterranee). – 2018. – V. 7. – No. 1. – AS24-317. – P. 19–27. – doi: 10.7343/as-2018-317.

Novopashina A.V. Influence of crustal fracturing on the thermal springs and earthquake swarms distribution in the north-east part of the Baikal rift system (Russia) / A.V. Novopashina, **E.A. Kuz'mina** // Italian Journal of Groundwater (Acque Sotterranee). – 2019. – V. 8. – No. 2. – AS29–360. – P. 23–36. – doi: 10.7343/as-2019-360.

Kuz'mina E.A. List of thermal waters of the northeast of the Baikal rift system (53°–56° N, 109°–114° E) and their main characteristics / E.A. Kuz'mina // ESDB repository, GC RAS, Moscow, 2022 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.2205/ESDB-RJES-data-824/>. Заглавие с экрана. (Дата обращения 9.12.2022).

### Тезисы докладов

**Кузьмина Е.А.** О возможном механизме формирования роев землетрясений в Байкальской рифтовой зоне / Е.А. Кузьмина // Тезисы докладов Третьей Сибирской международной конференции молодых учёных по наукам о Земле (г. Новосибирск, 27–29 ноября 2006 г.). – Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 2006. – С. 136–137.

**Кузьмина Е.А.** К выявлению парагенетических связей роев землетрясений и геотермальных выходов / Е.А. Кузьмина // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXII Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 24–29 апреля 2007 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. – С. 39–40.

**Кузьмина Е.А.** Исследование некоторых сейсмогидрогеологических особенностей Байкальской рифтовой системы / Е.А. Кузьмина // Современные проблемы геофизики. Девятая Уральская молодежная школа по геофизике (г. Екатеринбург, 24–28 марта 2008 г.). – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – С. 86.

**Кузьмина Е.А.** Сопоставительная оценка термальных вод Байкальской рифтовой системы (БРС) и Хангайского сводового поднятия / **Е.А. Кузьмина**, А.В. Вергун // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Геонауки», посвященной 110-летию со дня рождения профессора С.А. Вахромеева и 75-летию со дня рождения профессора Г.С. Вахромеева. Вып. 9. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – С. 164–168.

**Кузьмина Е.А.** Геодинамический режим, плотность разломов и локализация современных гидротерм Прибайкалья / Е.А. Кузьмина // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 19–24 апреля 2011 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2011. – С. 30.

**Кузьмина Е.А.** Пространственное соотношение сейсмичности с термальными выходами в Прибайкалье / **Е.А. Кузьмина**, А.В. Новопашина // Тектоника, рудные месторождения и глубинное строение земной коры (IV чтения памяти С.Н. Иванова): Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию С.Н. Иванова (г. Екатеринбург, 24–26 мая 2011 г.). – Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2011. – С. 143.

**Кузьмина Е.А.** Гидротермы Баргузинской впадины и ее окружения как показатель современной геодинамической активности / Е.А. Кузьмина // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе: Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы по современной геодинамике (г. Иркутск, 23–29 сентября 2012 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. – Т. 1. – С. 45–47.

**Кузьмина Е.А.** Обоснование генезиса микрокомпонентов в подземных водах Баргузинской впадины на основе физико-химического моделирования / Е.А. Кузьмина // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXV Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 23–28 апреля 2013 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. – С. 100–101.

**Kuz'mina E.A.** Genesis of thermal waters in the Baikal Rift System (based on physical and chemical simulation) / **E.A. Kuz'mina**, Y.N. Didenkov, S.V. Veshcheva // Geothermal Applications and Specialities in Groundwater Flow and Resources: Proceedings of the IAH Central European Groundwater (Mórahalom, Hungary, May 8–10, 2013). – Szeged, Hungary: University of Szeged, 2013. – P. 28–30.

Didenkov Y.N. Structural-hydrogeological analysis and physicochemical modeling for the processes of the Baikal Rift System natural water formation / Y.N. Didenkov, **E.A. Kuz'mina**, Z.V. Chernyshova, S.V. Veshcheva // The XVIII Kerulien International Conference on Geology (KICG 2013). Geological Engineering and Mining Exploration in Central Asia (Shijiazhuang, China, 20–23 September 2013). – Shijiazhuang, China, 2013. – P. 477–481.

**Кузьмина Е.А.** Особенности формирования сульфатно-натриевых вод в Баргузинской впадине на примере Алгинского термального выхода (по данным физико-химического моделирования) / Е.А. Кузьмина // Математическое моделирование, геоинформационные системы и базы данных в гидрогеологии: Материалы всероссийской научно-практической конференции (г. Москва, 25–27 сентября, 2013) / Под ред. В.Г. Румынина. – М.: АНО УКЦ «Изыскатель», 2013. – С. 49.

**Кузьмина Е.А.** Исследование процессов формирования термальных вод в рифтовых геодинамических условиях (Баргузинская впадина Байкальской рифтовой зоны) / Е.А. Кузьмина // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 12. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2014. – С. 169–171.

**Kuz'mina E.A.** A physico-chemical model as a way of reconstruction of deep source thermal waters / **E.A. Kuz'mina**, Yu.N. Didenkov, S.V. Veshcheva // Flowpath 2014. National Meeting on Hydrogeology (Viterbo, June 18–20, 2014). Abstract volume. Viterbo, Italy: Universita degli Studi della Tuscia, 2014. – P. 104–105.

**Кузьмина Е.А.** Моделирование физико-химических процессов в системе «вода-порода» (на примере Алгинского термального источника Байкальской рифтовой системы и термальной воды скважины Вржидло в Карловых Варах) / Е.А. Кузьмина // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXVI Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 20–25 апреля 2015 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2015. – С. 102–104.

**Кузьмина Е.А.** Реконструкция состава термальных вод в геодинамически активных областях на примере Байкальского рифта и Эгер грабена / Е.А. Кузьмина // Фундаментальные и прикладные проблемы гидрогеологии: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (г. Якутск, 22–28 июня, 2015 г.). – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2015. – С. 290–293.

**Кузьмина Е.А.** Трещиноватость земной коры и термальные источники в зоне миграции сейсмической активности области Амутского роя / **Е.А. Кузьмина**, А.В. Новопашина // Mongolian geoscientist. Special volume dedicated to 20th biannual conference of the Kherlen international geological expedition, May 2017. Ulaanbaatar, 2017. – V. 45. – P. 32–34.

Новопашина А.В. Пространственное соотношение роев землетрясений и выходов подземных вод в Байкальской рифтовой системе / А.В. Новопашина, **Е.А. Кузьмина** // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика (к 100-летию ИГУ): Тезисы докладов XII Российско-Монгольской международной конференции. – Иркутск: ИГУ, 2018. – С. 67.

**Кузьмина Е.А.** Закономерности формирования состава современных гидротерм в геодинамических условиях Баргузинской впадины / **Е.А. Кузьмина**, А.В. Новопашина, Лухнева О.Ф. // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 18. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2020. – С. 200–201.