



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и инновациям
ФГАОУ ВО НИ ТПУ

Юсубов М. С.

« 3 » 02 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Диссертация «Геохимия термальных вод провинции Цзянси (Китай)» выполнена в отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» и в лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

В период подготовки диссертации соискатель Зиппа Елена Владимировна работала в лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук в должности научного сотрудника, также обучалась в очной аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2016 г. с отличием окончила магистратуру Национального исследовательского Томского политехнического университета по направлению подготовки 20.04.02 Природообустройство и водопользование.

Диплом об окончании аспирантуры выдан в 2019 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки 05.06.01 Науки о Земле.

Научный руководитель - доктор геолого-минералогических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР Шварцев Степан Львович, доктор геолого-

минералогических наук Гусева Наталья Владимировна, работает в должности зав. каф. – рук. отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение: Диссертационная работа Зиппы Е.В. на тему: «Геохимия термальных вод провинции Цзянси (Китай)» выполнена на высоком научном уровне и соответствует паспорту специальности 25.00.07 – Гидрогеология.

Актуальность работы. В мировой практике термальные воды активно используются в качестве экологически чистого и практически возобновляемого источника энергии. Например, в таких странах как США, Исландия, Италия, Германия, Мексика, Турция, Франция, Нидерланды и другие до 50 % теплообеспечения осуществляется за счёт термальных вод (Baïoumy et al., 2015). Кроме этого, благодаря своему химическому составу, термы обладают бальнеологическими свойствами и используются населением в лечебно-профилактических целях.

Проявления термальных вод отмечаются преимущественно в районах тектонической активизации, где, с одной стороны, атмосферные осадки проникают на значительные глубины по трещинно-жильным и трещинным системам, а с другой стороны, глубинные флюиды проникают в верхние гидрогеологические этажи, что способствует формированию подземных вод, обладающих специфическим геохимическим обликом. Значительную роль термальные воды играют в минерало- и рудообразовании, процессах метаморфизма горных пород, при обосновании термодинамических условий недр и др. (Кононов, 1983; Зверев, 2011; Лаврушин, 2012). В этой связи, процессы и механизмы формирования терм являются предметом исследований специалистов разных отраслей.

Одним из примеров областей с широким распространением термальных вод является провинция Цзянси, на территории которой обнаружены проявления терм разного состава. Изучению термальных вод рассматриваемого региона посвящено значительное количество работ (Zhou, 1996; Sun, 1998; Sun and Li, 2001; Zhou and Zhang, 2001; Chen, 2008 и др.), которые ограничивались описанием макрокомпонентного состава терм, распространённости лишь некоторых микрокомпонентов, имеющих бальнеологическое значение, газового состава и изотопов воды и углерода. Между тем обоснование процессов и механизмов

формирования химического состава терм на базе комплексного их исследования не осуществлялось. Таким образом, **целью работы** выявление процессов и механизмов формирования состава термальных вод провинции Цзянси на основе их комплексного исследования. **Задачи:**

1. Проанализировать условия и выявить закономерности распространения термальных вод в пределах исследуемого региона.

2. Выявить особенности химического состава и форм нахождения серы и провести типизацию рассматриваемых термальных вод.

3. Изучить состав стабильных изотопов воды (δD , $\delta^{18}O$), углерода ($\delta^{13}C$) и серы ($\delta^{34}S$) для выявления генезиса и основных процессов формирования термальных вод.

4. Установить характер термодинамического равновесия терм с основными минералами и оценить изменение площадей активных поверхностей растворяемых минералов в процессе взаимодействия в системе вода-порода.

5. Оценить глубину и температуру циркуляции термальных вод и разработать концептуальную модель их формирования.

Личный вклад автора. Автор принимал участие в полевых экспедициях по отбору проб термальных вод в провинции Цзянси в 2015 г., в 2017 г. в том числе и в период научной стажировки в Восточном китайском технологическом университете. Кроме этого, автором выполнены сбор, обработка, анализ и интерпретация полученных гидрогеохимических данных, проведены термодинамические расчёты, расчёты глубинных температур и глубин циркуляции вод. Обработка данных осуществлялась самостоятельно с помощью программных комплексов HydroGeo, PhreeqC, Geochemist's Workbench, Corel Draw, ArcGIS и средств Microsoft Office. Кроме этого, автором освоена и применена методика расчёта площадей активной поверхности растворяемых минералов во время прохождения научной стажировки в Университете Сорбонна (г. Париж, Франция) под руководством профессора Пьерпаоло Зуддаса при финансовой поддержке Стипендии Президента Российской Федерации для обучения за рубежом в 2018/2019 учебном году.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением подхода, основанного на новейших теоретических положениях, использованием современного высокоточного оборудования в аккредитованных лабораториях при анализе химического и изотопного состава термальных вод, апробацией основных

научных результатов на различных международных конференциях и публикацией в рецензируемых российских и зарубежных журналах. Часть диссертационного исследования выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 15-55-53122 ГФЕН_а «Геохимия азотных термальных вод Забайкалья (Россия) и провинции Цзянси (юго-восточный Китай)», РФФИ 18-55-80015 БРИКС_т «Экологическая геохимия и очистка от органического загрязнения на примере водных систем районов Китая, Индии и России» и РНФ 17-17-01158 «Механизмы взаимодействия, состояние равновесия и направленность эволюции системы солёные воды и рассолы-основные и ультраосновные породы (на примере регионов Сибирской платформы)».

Практическая значимость. Результаты проведённого комплексного исследования вещественного состава, обоснование процессов и механизмов формирования термальных вод провинции Цзянси могут быть применены для разработки рациональной схемы их использования. При эксплуатации месторождений термальных вод часто наблюдаются осложнения в технологическом процессе, обусловленные солеотложением и коррозией оборудования, прогнозирование которых невозможно без глубокого изучения состава терм и особенностей их взаимодействия с минералами. Локализуясь в пределах районов тектонической активизации, рассматриваемые воды подвержены влиянию современных тектонических факторов, следовательно, результаты исследования их состава могут быть использованы для прогнозирования сейсмических событий. Материалы, полученные при выполнении исследования, использованы в образовательном процессе на базе Томского политехнического университета при проведении практических занятий по дисциплинам «Общая гидрогеология» для студентов отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов.

Научная новизна работы. 1) Показано, что в пределах территории провинции Цзянси на достаточно близком расстоянии друг от друга разгружаются разные по составу термальные воды, комплексное изучение которых проведено на современном аналитическом уровне. 2) Впервые для исследуемых терм обосновано поведение соединений серы в разных геохимических обстановках. 3) Для термальных вод рассматриваемого региона впервые проведена оценка их равновесия с основными минералами водовмещающих пород и установлено, что термальные воды находятся на разных этапах эволюционного развития системы

вода-порода. 4) Выявлены отличия в интенсивности растворения и площадях активных поверхностей минералов (поверхности контакта терм с минералами) на различных стадиях развития системы вода-порода. 5) Разработана концептуальная модель формирования термальных вод исследуемого региона, описаны процессы и механизмы формирования терм разного состава.

Апробация результатов. Основные положения и результаты научного исследования были представлены на: Всероссийской конференции, посвящённой 85-летию кафедры ГИГЭ ТПУ в 2015 г., Международном научном симпозиуме студентов и молодых учёных им. академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» в 2015, 2016 и 2017 гг. (г. Томск), Международном симпозиуме по взаимодействию вод с горными породами в 2016 г. (WRI-15, г. Эвора, Португалия) и в 2019 г. (WRI-16, г. Томск, Россия), на научном семинаре в Восточном китайском технологическом университете в 2017 г. (г. Наньчан, Китай), на Совещании по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием в 2018 г. (г. Новосибирск), Всероссийской конференции с участием иностранных учёных «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» в 2018 г. (г. Чита) и на других научных мероприятиях.

Публикации. По материалам исследования опубликовано 18 работ, 7 из которых в изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science, Scopus и 2 – в журнале, рекомендованном ВАК, 11- РИНЦ.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК и международные реферативные базы данных и системы цитирования (Web of Science, Scopus):

1. Зиппа, Е.В. Природа низкой солености и особенности состава термальных вод провинции Цзянси (Китай) / С.Л. Щварцев, **Е.В. Зиппа**, С.В. Борзенко // Геология и геофизики. – 2020. – Т. 61. – № 2. – С. 196-213.

2. Зиппа, Е.В. Оценка температур циркуляции термальных вод провинции Цзянси с применением различных геотермометров / **Е.В. Зиппа**, Н.В. Гусева, Ч. Сунь, Г. Чень // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 10. – С. 52-57.

3. Borzenko, S.V. Isotopic Composition and Origin of Sulfide and Sulfate Species of Sulfur in Thermal Waters of Jiangxi Province (China) / S.V. Borzenko, **E.V. Zippa** // Aquatic Geochemistry. – 2019. – V. 25. – Iss. 1-2. – P. 49-62.

4. Zippa, E. The chemical and isotopic compositions of thermal waters and gases in the Republic of Buryatia, Russia // **E. Zippa**, A. Plyusnin, S. Shvartsev // E3S Web Conf. – 2019. – V. 98. – 6 p.

5. Zippa, E. The Annenskiy thermal waters as the certain stage of the water-rock interaction (Far East, Russia) / **E. Zippa**, I. Bragin, G. Chelnokov, N. Kharitonova // E3S Web Conf. – 2019. – V. 98. – 6 p.

6. Shvartsev, S.L. Geochemistry of the thermal waters in Jiangxi Province, China / S.L. Shvartsev, Z. Sun, S.V. Borzenko, B. Gao, O.G. Tokarenko, **E.V. Zippa** // Applied Geochemistry. – V. 96. – 2018. – P. 113-130.

7. Sun, Z. The Thermal Water Geochemistry in Jiangxi Province (SE-China) / Z. Sun, S. L. Shvartsev, O. G. Tokarenko, **E. V. Zippa**, B. Gao // Procedia Earth and Planetary Science. – V. 17. – 2017. – P. 940-943.

Диссертация «Геохимия термальных вод провинции Цзянси (Китай)», выполненная Зиппой Еленой Владимировной, рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.07 – Гидрогеология.

Заключение принято на заседании отделения геологии.

Присутствовало на заседании 21 чел. Результаты голосования: «за» 21 чел., «против» нет, «воздержалось» нет, протокол № 38 от «31» октября 2019 г.

Председатель научного семинара

Рихванов Леонид Петрович,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор отделения геологии

Секретарь научного семинара

Хващевская Альбина Анатольевна,
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент отделения геологии

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ТФ ИНГГ СО РАН

О.Е. Делопкурова
«14» *сентября* 2020 г.
Д.б.-м.н.,
Делопкурова О.Е.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация «Геохимия термальных вод провинции Цзянси (Китай)» выполнена в лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук и в отделении геологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Зиппа Елена Владимировна работала в лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук в должности научного сотрудника.

В 2019 г. с отличием окончила Томский политехнический университет по специальности 05.06.01 Науки о Земле (Гидрогеология). Диплом об окончании аспирантуры выдан в 2019 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель - доктор геолого-минералогических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР Шварцев Степан Львович, доктор геолого-минералогических наук Гусева Наталья Владимировна, работает в должности зав. каф. – рук. отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Зиппы Е.В. на тему: «Геохимия термальных вод провинции Цзянси (Китай)» выполнена на высоком научном уровне и соответствует паспорту специальности 25.00.07 – Гидрогеология.

Актуальность работы. В мировой практике термальные воды активно используются в качестве экологически чистого и практически возобновляемого источника энергии. Например, в таких странах как США, Исландия, Италия, Германия, Мексика, Турция, Франция, Нидерланды и другие до 50 % теплообеспечения осуществляется за счёт термальных вод (Baïoumy et al., 2015). Кроме этого, благодаря своему химическому составу, термы обладают бальнеологическими свойствами и используются населением в лечебно-профилактических целях.

Проявления термальных вод отмечаются преимущественно в районах тектонической активизации, где, с одной стороны, атмосферные осадки проникают на значительные глубины по трещинно-жильным и трещинным системам, а с другой стороны, глубинные флюиды проникают в верхние гидрогеологические этажи, что способствует формированию подземных вод, обладающих специфическим геохимическим обликом. Значительную роль термальные воды играют в минерало- и рудообразовании, процессах метаморфизма горных пород, при обосновании термодинамических условий недр и др. (Кононов, 1983; Зверев, 2011; Лаврушин, 2012). В этой связи, процессы и механизмы формирования терм являются предметом исследований специалистов разных отраслей.

Одним из примеров областей с широким распространением термальных вод является провинция Цзянси, на территории которой обнаружены проявления терм разного состава. Изучению термальных вод рассматриваемого региона посвящено значительное количество работ (Zhou, 1996; Sun, 1998; Sun and Li, 2001; Zhou and Zhang, 2001; Chen, 2008 и др.), которые ограничивались описанием макрокомпонентного состава терм, распространённости лишь некоторых микрокомпонентов, имеющих бальнеологическое значение, газового состава и изотопов воды и углерода. Между тем обоснование процессов и механизмов формирования химического состава терм на базе комплексного их исследования не осуществлялось. Таким образом, **целью работы** выявление процессов и механизмов формирования состава термальных вод провинции Цзянси на основе их комплексного исследования.

Задачи: 1. Проанализировать условия и выявить закономерности распространения термальных вод в пределах исследуемого региона. 2. Выявить особенности химического состава и форм нахождения серы и провести типизацию рассматриваемых термальных вод. 3. Изучить состав стабильных изотопов воды (δD , $\delta^{18}O$), углерода ($\delta^{13}C$) и серы ($\delta^{34}S$) для выявления генезиса и основных процессов формирования термальных вод. 4. Установить характер термодинамического равновесия терм с основными минералами и оценить изменение площадей активных поверхностей растворяемых минералов в процессе взаимодействия в системе вода-порода. 5. Оценить глубину и температуру

циркуляции термальных вод и разработать концептуальную модель их формирования.

Личный вклад автора. Автор принимал участие в полевых экспедициях по отбору проб термальных вод в провинции Цзянси в 2015 г., в 2017 г. в том числе и в период научной стажировки в Восточном китайском технологическом университете. Кроме этого, автором выполнены сбор, обработка, анализ и интерпретация полученных гидрогеохимических данных, проведены термодинамические расчёты, расчёты глубинных температур и глубин циркуляции вод. Обработка данных осуществлялась самостоятельно с помощью программных комплексов HydroGeo, PhreeqC, Geochemist's Workbench, Corel Draw, ArcGIS и средств Microsoft Office. Кроме этого, автором освоена и применена методика расчёта площадей активной поверхности растворяемых минералов во время прохождения научной стажировки в Университете Сорбонна (г. Париж, Франция) под руководством профессора Пьерпаоло Зуддаса при финансовой поддержке Стипендии Президента Российской Федерации для обучения за рубежом в 2018/2019 учебном году.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением подхода, основанного на новейших теоретических положениях, использованием современного высокоточного оборудования в аккредитованных лабораториях при анализе химического и изотопного состава термальных вод, апробацией основных научных результатов на различных международных конференциях и публикацией в рецензируемых российских и зарубежных журналах. Часть диссертационного исследования выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 15-55-53122 ГФЕН_а «Геохимия азотных термальных вод Забайкалья (Россия) и провинции Цзянси (юго-восточный Китай)», РФФИ 18-55-80015 БРИКС_т «Экологическая геохимия и очистка от органического загрязнения на примере водных систем районов Китая, Индии и России» и РНФ 17-17-01158 «Механизмы взаимодействия, состояние равновесия и направленность эволюции системы солёные воды и рассолы-основные и ультраосновные породы (на примере регионов Сибирской платформы)».

Практическая значимость. Результаты проведённого комплексного исследования вещественного состава, обоснование процессов и механизмов формирования термальных вод провинции Цзянси могут быть применены для разработки рациональной схемы их использования. При эксплуатации месторождений термальных вод часто наблюдаются осложнения в технологическом процессе, обусловленные солеотложением и коррозией оборудования, прогнозирование которых невозможно без глубокого изучения состава терм и особенностей их взаимодействия с минералами. Локализуясь в пределах районов тектонической активизации, рассматриваемые воды подвержены влиянию современных тектонических факторов, следовательно, результаты

исследование их состава могут быть использованы для прогнозирования сейсмических событий. Материалы, полученные при выполнении исследования, использованы в образовательном процессе на базе Томского политехнического университета при проведении практических занятий по дисциплинам «Общая гидрогеология» для студентов отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов.

Научная новизна работы. 1) Показано, что в пределах территории провинции Цзянси на достаточно близком расстоянии друг от друга разгружаются разные по составу термальные воды, комплексное изучение которых проведено на современном аналитическом уровне. 2) Впервые для исследуемых терм обосновано поведение соединений серы в разных геохимических обстановках. 3) Для термальных вод рассматриваемого региона впервые проведена оценка их равновесия с основными минералами водовмещающих пород и установлено, что термальные воды находятся на разных этапах эволюционного развития системы вода-порода. 4) Выявлены отличия в интенсивности растворения и площадях активных поверхностей минералов (поверхности контакта терм с минералами) на различных стадиях развития системы вода-порода. 5) Разработана концептуальная модель формирования термальных вод исследуемого региона, описаны процессы и механизмы формирования терм разного состава.

Апробация результатов. Основные положения и результаты научного исследования были представлены на: Всероссийской конференции, посвящённой 85-летию кафедры ГИГЭ ТПУ в 2015 г., Международном научном симпозиуме студентов и молодых учёных им. академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» в 2015, 2016 и 2017 гг. (г. Томск), Международном симпозиуме по взаимодействию вод с горными породами в 2016 г. (WRI-15, г. Эвора, Португалия) и в 2019 г. (WRI-16, г. Томск, Россия), на научном семинаре в Восточном китайском технологическом университете в 2017 г. (г. Наньчан, Китай), на Совещании по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием в 2018 г. (г. Новосибирск), Всероссийской конференции с участием иностранных учёных «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» в 2018 г. (г. Чита) и на других научных мероприятиях.

Публикации. По материалам исследования опубликовано 18 работ, 7 из которых в изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science, Scopus и 2 – в журнале, рекомендованном ВАК, 11- РИНЦ.

В публикациях в полном объёме рассмотрены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК и международные реферативные базы данных и системы цитирования (Web of Science, Scopus):

1. Зиппа, Е.В. Природа низкой солености и особенности состава термальных вод провинции Цзянси (Китай) / С.Л. Щварцев, **Е.В. Зиппа**, С.В. Борзенко // Геология и геофизики. – 2020. – Т. 61. – № 2. – С. 196-213.

2. Зиппа, Е.В. Оценка температур циркуляции термальных вод провинции Цзянси с применением различных геотермометров / **Е.В. Зиппа**, Н.В. Гусева, Ч. Сунь, Г. Чень // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 10. – С. 52-57.

3. Borzenko, S.V. Isotopic Composition and Origin of Sulfide and Sulfate Species of Sulfur in Thermal Waters of Jiangxi Province (China) / S.V. Borzenko, **E.V. Zippa** // Aquatic Geochemistry. – 2019. – V. 25. – Iss. 1-2. – P. 49-62.

4. Zippa, E. The chemical and isotopic compositions of thermal waters and gases in the Republic of Buryatia, Russia // **E. Zippa**, A. Plyusnin, S. Shvartsev // E3S Web Conf. – 2019. – V. 98. – 6 p.

5. Zippa, E. The Annenskiy thermal waters as the certain stage of the water-rock interaction (Far East, Russia) / **E. Zippa**, I. Bragin, G. Chelnokov, N. Kharitonova // E3S Web Conf. – 2019. – V. 98. – 6 p.

6. Shvartsev, S.L. Geochemistry of the thermal waters in Jiangxi Province, China / S.L. Shvartsev, Z. Sun, S.V. Borzenko, B. Gao, O.G. Tokarenko, **E.V. Zippa** // Applied Geochemistry. – V. 96. – 2018. – P. 113-130.

7. Sun, Z. The Thermal Water Geochemistry in Jiangxi Province (SE-China) / Z. Sun, S. L. Shvartsev, O. G. Tokarenko, **E. V. Zippa**, B. Gao // Procedia Earth and Planetary Science. – V. 17. – 2017. – P. 940-943.

Диссертация «Геохимия термальных вод провинции Цзянси (Китай)», выполненная Зиппой Еленой Владимировной, рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.07 – Гидрогеология.

Заключение принято на заседании расширенного научного семинара двух лабораторий гидрогеохимии и геоэкологии (№ 653) и физико-химических исследований керна и пластовых флюидов (№ 654).

Присутствовало на заседании 10 чел. Результаты голосования: «за» 10 чел., «против» нет, «воздержалось» нет, протокол № 1 от «14» января 2020 г.

Председатель
научного семинара



Лепокурова Олеся Евгеньевна,
доктор геолого-минералогических наук,
зав. лабораторией гидрогеохимии и
геоэкологии

Секретарь
научного семинара



Домрочева Евгения Витальевна,
кандидат геолого-минералогических наук