

К.М. РЫЧКОВА

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО ОТРЯДА ТУВИКОПР СО РАН

В статье представлены результаты работ Геотермического отряда Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН по определению отношения изотопов гелия в подземных флюидах Тувы и прилегающих территорий для оценки теплового потока. Выявлены изотопно-гелиевая аномалия и аномалия теплового потока. Установлено, что западная часть Тувы по уровню теплового потока отличается от восточной. Установлена геотермическая модель развития восточной части Тувы. Выявлены газогеохимические индикаторы подземных вод Центрально-Тувинской котловины.

Ключевые слова: Западная и Восточная Тува, подземные флюиды, источники, отношения изотопов гелия, тепловой поток, вулканизм, магматизм, разломные зоны, рифтогенез, оз. Дус-Холь, Тункинский максимум, Байкальская рифтовая зона, Восточно-Саянская разломная зона.

Библ. 8. назв. С. 14–17.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ: Гранты № 05-05-97225 р-байкал-а и № 13-05-98018 р_сибирь-а

K.M. RYCHKOVA

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)

WORK RESULTS OF THE GEOTHERMAL GROUP OF TUVIENR SB RAS

The paper considers the work results of the geothermal group of the TUVIENR SB RAS on determining the ratio of helium isotopes in underground fluids of Tuva and adjacent territories for estimating the heat flow. The helium isotopes anomaly and heat flow anomaly have been identified. It was established that the western part of Tuva differs from the eastern one in terms of the level of heat flow. A geothermal model for the development of the eastern part of Tuva has been established. Gas-geochemical indicators of groundwater in the Central Tuvan basin were revealed.

Keywords: Western and Eastern Tuva, underground fluids, sources, helium isotope ratios, heat flow, volcanism, magmatism, fault zones, riftingogenesis, lake Dus-Khol, Tunka's maximum, Baikal rift zone, East Sayan fault zone.

References 8. P. 14–17.

ВВЕДЕНИЕ. Тепловой поток (q) является одной из важнейших энергетических характеристик физического состояния Земли. Изучение теплового потока даёт информацию об энергетике геологических процессах, о движущих механизмах развития тектоносферы, о понимании процессов, происходящих в её глубинах. Знание и распределение теплового потока (q) позволяет создавать геотермические и геодинамические модели глубинного строения литосферы Земли.

Тува расположена в регионе, где наблюдается высокая активность геодинамических процессов, высокая концентрация напряжений земной коры. В кайнозое на территории Тувы сформировались горные хребты и значительные депрессии, а в восточной части, являющейся зоной сочленения с Байкальской рифтовой зоной, произошли крупные излияния базальтов. Вопрос о природе и масштабах тектономагматической активизации в Восточной Туве ещё остаётся открытым. 2003 г. в Тувинском институте комплексного освоения природных ресурсов СО РАН был создан Геотермический отряд для изучения изотопного состава гелия ($^3\text{He}/^4\text{He} = R$) в подземных флюидах

Туву и окружающих территориях для определения глубинного теплового потока. Результаты этих работ и посвящена предлагаемая статья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. Ранее в Туве тепловой поток был определён прямым методом — измерениями в скважинах в основном в Тувинском прогибе в 8 пунктах, где его величина в среднем составляла 47 мВт/м^2 и в трёх на востоке Тувы, в её горной части, там величина теплового потока достигала 80 мВт/м^2 (Дучков и др., 2010). Продолжение работ по измерению теплового потока было приостановлено из-за отсутствия скважин, пригодных для производства замеров.

Поэтому для его оценки был использован, впервые в АССО, нетрадиционный изотопно-гелиевый метод. Определение теплового потока стало возможным после выявления в 1988 г. корреляционной связи между тепловым потоком и отношением стабильных изотопов гелия в газонасыщенных флюидах термоминеральных вод в очагах их разгрузки (Поляк, 1988, с. 161). Отношение изотопов гелия (R) на настоящий момент является единственно надёжным и сильным критерием связи флюидов с мантией. Результаты исследований распределения R дают возможность получать объективные данные не только о недавней тектономагматической активизации, но и о величине теплового потока.

Установленная зависимость в настоящее время применяется для уточнения и изучения теплового потока во многих регионах земного шара (Монголия, Китай, Япония, Чехия, США и др.). Наличие многочисленных минеральных источников позволило применить изотопно-гелиевый метод для оценки теплового потока на территории Тувы. В Туве такие работы не проводились, поэтому проведённые исследования являются новаторскими.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Нами было опробованы 38 источников Тувы и прилегающих территорий Бурятии и Горного Алтая на отношения изотопов гелия. Установлены заметные различия значений теплового потока и отношения изотопов гелия для Западной и Восточной Тувы. В Западной Туве подземные воды формируются в зоне активного водообмена, содержат атмосферный гелий и не несут глубинной компоненты. Поэтому определение теплового потока по отношению изотопов гелия в подземных флюидах Западной Тувы не имеет смысла. Исключением явились подземные флюиды источника Шуйский (Западная Тува) и источник оз. Дус-Холь (Центральная Тува), где содержание глубинной компоненты, а именно мантийного гелия достигает 5–6%. Повторные отборы и результаты анализов в течение ряда лет показали неизменность содержания мантийного гелия в этих источниках. Разломы, выходящие подземные флюиды в этих пунктах, являются глубинными сквозькоровыми и имеют высокую степень проницаемости для глубинных газов. На востоке Тувы подземные флюиды источников характеризуются высокими аномальными значениями R . На её обширной территории была выявлена изотопно-гелиевая аномалия, которая смыкается с аномалией юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) (Рычкова и др., 2007).

По корреляционной зависимости теплового потока (q) и изотопов гелия были получены 25 косвенных оценок теплового потока. Это позволило существенно уточнить распределение q в Тувинском регионе, где ранее имелось всего 10 пунктов определений. Было установлено, что Восточная Тува характеризуется аномально высоким тепловым потоком с вариацией от 65 до 84 мВт/м^2 при среднем 76 мВт/м^2 . Он является продолжением тепловой аномалии западного фланга БРЗ (Рычкова, 2009). Были рассчитаны прогнозные оценки глубинных температур: на глубине 50 км температура может достигать $900\text{--}1100^\circ\text{C}$. Мощность термической литосферы составляет 50–70 км (Рычкова, Лебедев, 2005). Полученные прогнозные величины близки к данным по Байкальской рифтовой зоне. Разгрузка тепломассопотока в Туве установлена на гораздо большей территории, чем площадь откартированных здесь проявлений новейшего вулканизма. Изотопно-гелиевая и тепловая аномалии продолжаются на ~ 340 и более километров за пределы БРЗ на северо-запад по Восточно-

Саянской системе разломов (Рычкова, Монгуш, 2018). Носителем мантийного гелия и глубинного тепла является силикатное вещество — мантийные массы плюма Южно-Байкальской вулканической области (Рычкова, Аюнова, 2019).

Полученные изотопно-гелиевые данные и рассчитанный тепловой поток указывают на продолжение рифтогенной и магматической активности за пределы юго-западного фланга БРЗ на северо-запад по простиранию разломных зон Восточного Саяна и соответствуют геотермической модели для континентальных рифтов, в которой активность мантии есть следствие деформаций в перекрывающей литосфере.

Подземные воды являются основным резервуаром накопления глубинных флюидных компонентов, поступающих из сейсмогенерирующих областей. Они имеют высокую чувствительность к изменению геологической среды. В 2013 г. нами впервые в Туве были проведены режимные наблюдения за содержанием макро- и микрокомпонентного состава и общего гелия минеральных вод источника оз. Дус-Холь, расположенного в Центрально-Тувинской котловине. Проведённые исследования по наблюдению подземных вод оз. Дус-Холь подтверждают установленный для всего Центрально-Азиатского региона вывод о взаимосвязи подземной гидросферы и сейсмогеодинамической активности. Даже небольшой объём работ показал изменения макро- и микрокомпонентного состава вод в связи с небольшим землетрясением, произошедшим в период наблюдений. Наиболее информативными явились вариации макрокомпонентного состава и минерализации (Рычкова и др., 2015). Установлено вариативное изменение содержания общего водорастворённого гелия после землетрясений 2011–2012 гг. Водорастворённый гелий является одним из самых надёжных и чувствительным индикаторов на сейсмодинамические изменения земной коры. Выявленные вариации этого компонента свидетельствуют о неустойчивом напряжённо-деформированном состоянии земных недр Центрально-Тувинской котловины, входящей в Тувинский межгорный прогиб. Выявлен скрытый сквозькоровый глубинный тектонический разлом.

Поиск и выявление газогеохимических показателей, изучение гелионосности подземных вод горно-складчатых районов и переходных зон орогена Тувы имеет большое научное и практическое значение. Результаты свидетельствуют о необходимости продолжения и расширения наблюдения режима минеральных вод оз. Дус-Холь и всей Тувы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работ Геотермического отряда позволили:

1. Выявить изотопно-гелиевую аномалию, являющуюся продолжением Тункинско-го изотопно-гелиевого максимума Байкальской рифтовой зоны.
2. Определить и уточнить тепловой поток в наиболее малоизученном и труднодоступном регионе Тувы, установить геотермические характеристики для земной коры.
3. Установить продолжение рифтогенных и магматических процессов за пределы юго-западного фланга БРЗ.
4. Выявить разгрузку тепломассопотока на гораздо большей территории, чем это было установлено по данным о распространении продуктов новейшего вулканизма и установить, что носителем мантийного гелия и глубинного тепла является силикатное вещество — мантийные массы плюма Южно-Байкальской вулканической области.
5. Установить соответствие геотермической модели, отвечающей модели для континентальных рифтов.
6. К практическим результатам проведённых работ следует отнести дешевизну получения геотермических характеристик нетрадиционным (изотопно-гелиевым) методом, получение исходных данных для практического использования геотермальной энергии.
7. Выявить впервые газогеохимические индикаторы сейсмодинамической активности в Туве, уточнить тектоническую обстановку в закрытом районе Центрально-

- Тувинской котловины, получить новые данные о связи состава подземных вод с геодинамикой.
8. В Туве такие работы не проводились, поэтому проведённые исследования являются новаторскими.
 9. Результаты работ указывают на необходимость проведения дальнейших исследований отношений изотопов гелия в неисследованных источниках Восточного Саяна, о газогеохимическом и гидрогеодинамическом мониторинге подземных флюидов Тувы.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ: Гранты № 05-05-97225 р-байкал-а и № 13-05-98018 р_сибирь-а.

ЛИТЕРАТУРА

- Дучков А.Д., Рычкова К.М., Лебедев В.И., Каменский И.Л., Соколова Л.С.* Оценки теплового потока Тувы по данным об изотопах гелия в термоминеральных источниках // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51 (2). – С. 264–276.
- Поляк Б.Г.* Тепломассопоток из мантии в главных структурах земной коры. – М.: Наука, 1988. – 192 с.
- Рычкова К.М., Дучков А.Д., Лебедев В.И., Каменский И.Л.* Изотопы гелия в подземных источниках Восточной Тувы // Докл. АН. – 2007. – Т. 417. – № 6. – С. 814–817.
- Рычкова К.М., Монгуш С.-С.С.* Распределение тепломассопотока на крайнем юго-западе Байкальской рифтовой зоны // Вулканология и сейсмология [Электрон. ресурс]. – 2018. – № 3. – С. 36–45. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35714395>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=35095955>.
- Рычкова К.М.* Тепловой поток территории Тувы по изотопно-гелиевым и геотермическим данным (спец.: 25.00.10): Дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Новосибирск.: Д 003.068.03.20, защита 10.12.2009, подтв. 16.05.2010. – 118 с.
- Рычкова К.М., Лебедев В.И.* Прогнозные геотермические параметры литосферы Восточной Тувы // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Азии. Геоэкология природной среды и общества: Науч. тр. ТувИКОП СО РАН. Вып. 8 / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОП СО РАН, 2005. – С. 101–103.
- Рычкова К.М., Аюнова О.Д.* Изотопы гелия в подземных водах Тункино-Окинско-Саянской рифтовой зоны (Восточный Саян): корреляция с тепловым потоком // Геология и геофизика [Электрон. ресурс]. – 2019. – Т. 60. – № 9. – С. 1269–1280. DOI:10.15372/RGG2019066. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40870632>.
- Рычкова К.М., Монгуш С.С.-С., Копылова Ю.Г., Сат Х.Н.* Газогеохимические показатели сейсмодинамической активности (Центральная Тува, оз. Дус-Холь): Сейсмическая безопасность региона и воздействие сейсмогеологических и социально-экономических факторов на его развитие: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (17–18.11.2015, ТувИКОП СО РАН, Кызыл). – Кызыл: РИО ТувГУ, 2015. – С. 87–92.