2. ГЕОХИМИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

DOI.10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-57-60

Особенности поведения редкоземельных элементов и условия водного питания термальных вод Охотоморского побережья

Брагин И.В., Вельдемар А.А., Павлов А.А.

Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия, E-mail: bragin_ivan@mail.ru

Челноков Г.А.

Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия, E-mail: geowater@mail.ru

Харитонов Н.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия. E-mail: tchenat@mail.ru

АННОТАЦИЯ: В статье представлены новые данные по геохимии редкоземельных элементов, а также изотопии термальных вод Охотоморского побережья (Ульский, Анненский, Тумнин, Таватум, Талая, Паратунка, Даги и Лесогорский). Для изученной группы термальных вод определены основные геолого-гидрогеологические условия формирования их состава. Профили распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) позволило разделить исследованную группу термальных вод по водовмещающим породам, минерализации и окислительно-восстановительным условиям областей разгрузки вод. Значения $\delta^{18}\text{O}$ и δD позволило выделить основные факторы, определяющие особенности питания вод: климат, географическое положение, особенности гидрологии в высоких широтах.

Features of rare-earth elements behavior and the conditions of water recharge of the thermal waters of the Sea of Okhotsk sea shore

Bragin I.V., Veldemar A.A., Pavlov A.A.

Far East Geological Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Chelnokov G.A.

Geological Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Kharitonova N.A.

Lomonosov's Moscow State University, Moscow, Russia

ABSTRACT: The article presents new data on the geochemistry of rare-earth elements, as well as the isotopy of the thermal waters of the Okhotsk sea shore (Ulsky, Annensky, Tumnin, Tavatum, Talaya, Paratunka, Dagi and Lesogorsky). For the studied group of thermal waters, the basic geological and hydrogeological conditions for the formation of their composition are determined. The distribution profiles of rare-earth elements (REE) allowed us to divide the studied group of thermal waters into groups by water-bearing rocks, mineralization and redox conditions of water discharge areas. The values of $\delta^{18}\text{O}$ and δD made it possible to single out the main factors that determine the features of water supply: climate, geographical location, and hydrological features at high latitudes.

ВВЕДЕНИЕ

Проявления термальных вод, расположенных на побережье континентальной части Дальнего Востока России, привлекают большое внимание широкого круга специалистов [2-11], однако, из-за отдаленности и недоступности, остаются плохо изученными.

Основной целью данной работы было изучение условий формирования и генезиса термальных вод побережья Охотского моря Хабаровского края и Магаданской области и сравнение дан-

ных с ранее изученными районами Сахалина и Камчатки.

Проявление Ульского термального источника расположено в Николаевском районе Хабаровского края, в 6 км к юго-востоку от посёлка Мновершинное (рис. 1), на левой стороне правого притока реки Правая Тывлинка. Проявление выглядит как небольшой бассейн (1,5х1,5х0,8 м), каптированный брусом. Минеральная вода используется местными жителями без медицинских показаний и назначений врача для принятия ванн [4].

Анненское месторождение термальных вод расположено в нижнем течении реки Амур, на его правом берегу, в 120 км вверх по течению от города Николаевск-на-Амуре, в 6,5 км к юго-западу от пирса Сусанино (рис. 1). Современная водолечебница «Анненские воды» использует воду из скважины этого месторождения, обслуживая более 10000 человек в год (80-120 пациентов зимой и до 200 человек летом) [6].

Курорт Тумнин расположен в Ванинском рай-

Рис. 1. Карта объектов исследования

оне Хабаровского края, в 9 км от железнодорожной станции Тумнин, в долине руч. Чопе - правого притока р. Тумнин (рис. 1). Три водолечебницы используют термальные воды из двух скважин для лечения. Около 8000 человек используют эти источники ежегодно. Этот курорт очень популярен среди населения в том числе и других регионов [6].

Курорт Талая расположен в Магаданской области, в 270 км к северу от города Магадана (рис. 1). Бальнеологический комплекс старого образца использует термальную воду этого месторождения с 1939 года. Ежегодно здесь проходят лечение более 5000 человек из Магаданской и Якутской области (РС) [9].

Таватумское месторождение термальных вод расположено в Магаданской области, в 2 км от побережья залива Шелихова в пойме ручья Хоксичан, левого притока р. Таватум. Месторождение представлено двумя изливающимися скважинами и рядом природных выходов с общим дебетом около 6 л/с.

Дагинские термоминеральные источники расположены в северной части острова Сахалин, в 50 км к северу от города Ноглики (рис. 1). Месторождение представлено группой спа-центров, в основном специализирующихся на процедурах плавания в бане и бассейне, и группой природных источников, встречающихся в приливной зоне залива Чайво. Небольшие бассейны (2x2x1,5 м) вырыты на каждом при-

родном источнике, что позволяет большему количеству людей проходить лечение [10].

Лесогорские источники расположены в центральной части острова Сахалин, в 40 км к востоку от посёлка Тельновск (рис. 1). Две группы источников объединены в два бассейна (4x4x1 м), каптированные брёвнами. Люди со всего Сахалина рады получить бесплатное лечение на этих источниках круглый год [10].

Паратунское месторождение термальных вод является крупнейшим месторождением в России оцененными запасами в более чем 44000 м³/день (рис. 1). Месторождение представлено многочисленными скважинами и природными источниками, ранее изучалось многими исследователями и известно во всем мире.

Методика исследований является стандартной и подробно описана в работах [8, 9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В зависимости от гидрогеологических условий воды формируют свой состав либо в кристаллических, либо в осадочных породах [9, 10, 11]. Границы этих резервуаров разрушаются неотектоникой, а источником тепла считаются молодые интрузии. Возраст вмещающих пород, а также интрузий зависит от возраста последней вулканической активности в регионе и варьируется от юрского до палеоценового для вмещающих пород и от палеоценового до миоценового для интрузий. По основному ионному составу термальные воды Сихотэ-Алинского хребта (Ульский, Тумнин и Анненские), с кристаллическими вмещающими породами относятся к сульфатно-гидрокарбонатным или гидрокарбонатным натриевым пресным водам с повышенным содержанием кремния (до 41 ppm), низким TDS (<0,3 г/л), щелочной (9,1 < рН < 9,3), глеевой или слабоокислительной средой (0 < Eh < 150 мВ). Температура воды на выходе колеблется от 31,8 до 49 °С. Воды слабо газируют, в газовой составляющей преобладает азот (до 72,5–97,2 об.%) [1]. Термальные воды Талая и Паратунка залегают в осадочных бассейнах, что приводит к присутствию сульфата и хлора в основных ионах, более высоким значениям TDS (до 1,2 г / л), более низким значениям рН (~ 8,6) и восстановительным условиям (-82 > Eh > -157 мВ). Температура относительно высокая (72- 75 °С), а состав газа представлен азотом [9]. Когда на осадочные бассейны влияют как гранитные породы, так и морские интрузии, для сахалинских терм (Лесогорские и Дагинские), прежде всего, мы видим появление метана в газовом составе, наличие восстановительных обстановок (-42 > Eh > -315 мВ), более высокая TDS с преобладанием Na-Cl и более низкие значения рН (6,5-9,2). Гранитные интрузии

зии, больше влияющие на Лесогорские термы, отражаются в более низких значениях TDS (0,4 г / л) [10].

Рис. 2. Нормированные к Северо-Атлантическому сланцу значения содержания РЗЭ в термальных водах охотоморского побережья

Данные по РЗЭ представлены на рисунке 2. Здесь отчётливо видны низкие концентрации РЗЭ, что характерно для щелочных вод с низким TDS. Нормализованные по NASC закономерности показывают положительную Eu-аномалию для вод с более высокой минерализацией, а также вод, формирующихся в осадочных породах (Талая, Паратунка, Даги, Таватум). По-видимому, наличие европиевой аномалии указывает на активные процессы выщелачивания европия из алюмосиликатов, характерные для активных гидротермальных систем с более высокой температурой и дебитом. Более плоский рисунок распределения характерен для более низкоминерализованных вод, а также для вод, циркулирующих в кристаллических породах (Ульский, Анненские, Лесогорские). Хотя, у Лесогорских терм присутствует небольшая положительная Eu-аномалия, вызванная, возможно, влиянием осадочных пород.

Наличие пика на лютеции дискуссионно и скорее всего вызвано повышенным кларком данного элемента в водовмещающей породе. Отсутствие цериевой аномалии указывает на восстановительные условия формирования исследуемых вод, а ровный профиль распределения – на формирование гидротерм в осадочных породах. Сильная отрицательная цериевая аномалия характерна для окислительных условий поверхностных вод. В таких условиях церий переходит в малоподвижную четырёхвалентную форму и выносятся из раствора с коллоидами и вторичными минералами. Если значение Eh выше 0 мВ, то церий окисляется до формы Ce^{4+} , которая менее подвижна и осаждается вторичными глинистыми минералами или частицами органического вещества, что приводит к отрицательной аномалии церия в растворе (Анненские). Если значение Eh является отрицательным, церий восстанавливается до формы Ce^{2+} ,

которая более подвижна, что приводит к накоплению его в растворе (Даги, Паратунка, Лесогорский и Ульский). Случай Таватума и Талой должен быть изучен более глубоко, потому что здесь мы наблюдаем отрицательное значение Eh и отрицательный Ce^{*} , что также можно объяснить отсутствием церия в водовмещающих породах этих месторождений. Полученные данные по стабильным изотопам воды исследуемых термальных вод (рис. 3) свидетельствует о том, что все фигуративные точки находятся в пределах линии метеорных вод. Это указывает на атмосферный источник питания вод.

Сравнение с имеющимися данными показывает [3], что изотопный состав термального источника в целом отражает широтную зависимость. Рассчитанный коэффициент облегчения для этого типа воды составляет 4,84 ‰ для 10° широты для дейтерия и 0,59 ‰ для 10° широты для $\delta^{18}O$. [5, 6].

Наши данные показывают, что для такой географически широкой группы источников, по-

Рис. 3. $\delta^{18}O$ и δD в термальных водах Охотоморского побережья: 1 – Талая, 2 – Анненские, 3 – Таватум, 4 – Тумнин, 5 – Ульский, 6 – Паратунка, 7 – Даги, 8 – Лесогорский. VSMOW – Венский стандарт средней океанической воды, GISP – Осадки на Гренландском ледяном щите [12]

мимо широтной зональности, важную роль играет преобладающий источник влаги, питающих термы, а также среднегодовая температура воздуха. Здесь мы должны условно разделить термальные воды на две группы, используя особенности области питания. Первая группа: Тумнин, Анненский и Талая с более «континентальным» климатом, чем для материковых термальных вод, формирующим изотопно более легкие воды, и вторая группа: Таватум, Ульский, Паратунка, Даги и Лесогорский, с «морским» климатом Охотоморского побережья, формирующим изотопно более тяжелые воды. Однако для более детального изучения фракционирования осадков и источников влаги необходимо провести дальнейшие исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно сделать вывод, что особенности геологического развития территории, разнообразие типов водоносных пород, наличие разнородных тектонических разломов обусловили очень сложные гидрогеологические, геотермические и гидрохимические условия. Геология и тектоника создали запасы и режим для термальных вод побережья Охотского моря.

Использование РЗЭ как чувствительных маркеров позволило разделить исследованную группу термальных вод по водовмещающим породам, минерализации и окислительно-восстановительным условиям областей разгрузки вод. Использование стабильных изотопов позволило выделить основные факторы, определяющие особенности питания вод: климат, географическое положение, особенности гидрологии в высоких широтах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №17-77-10007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В., Невраев Г.А. Классификация подземных минеральных вод. М.: Недра, 1964. 166 с.
2. Поляк Б.Г., Дубинина Е.О., Лаврушин В.Ю., Чешко А.Л. Изотопный состав воды гидротерм Чукотки // Литология и полезные ископаемые. 2008. № 5. С. 480-504.
3. Харитонов Н.А., Челноков Г.А., Брагин И.В., Вах Е.А. Изотопный состав природных вод юга Дальнего востока России // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. №2. С. 75–86.
4. Челноков Г.А., Брагин И.В., Харитонов Н.А., Александров И.А., Ивин В.В., Челнокова Б.И. Гео-

химия и условия формирования Ульского термального источника (Охотоморское побережье, Хабаровский край) // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38. № 2. С. 73-85.

5. Bragin I V, Chelnokov G A, Chudaev O V, Chudaeva V A 2007 Low-temperature geothermal waters of continental margin of Far East of Russia Proceedings of the 12th international symposium on water-rock interaction WRI-12 481–484
6. Bragin I V, Chelnokov G A, Chudaev O V, Kharitonova N A, Vysotskiy S V 2016 Geochemistry of thermal waters of continental margin of Far East of Russia Acta geologica sinica 90 (1) 276–284
7. Bragin I V, Kharitonova N A, Chelnokov G A, Aseeva A V, Chudaev O V 2018 REY geochemistry in groundwater from Paratunka geothermal area (Kamchatka peninsula, Far East of Russia) Environmental Earth Sciences 77 376–390
8. Bragin I V, Chelnokov G A, Kharitonova N A 2019 Thermomineral springs of North-Eastern Sikhote-Alin' Ridge, Far East of Russia IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 227 (2019) 052042
9. Bragin I.V., Chelnokov G.A., Kharitonova N.A., Veldemar A.A. and Pavlov A.A. (2020) Rare-earth elements and isotopic geochemistry of thermal waters of the Okhotsk sea shore, Far East of Russia // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 467, 012092
10. Chelnokov G A, Bragin I V, Kharitonova N A 2018 Geochemistry of mineral waters and associated gases of the Sakhalin Island (Far East of Russia) Journal of Hydrology 559: 942-953
11. Chudaev O V, Chudaeva V A, Bragin I V 2008 Geochemistry of thermal waters of Sikhote-Alin Russian Journal of Pacific Geology 27 (6) 73–81
12. Craig H 1961 Isotopic variations in meteoric waters Science 133 (3465) 1702–1703.