

УДК 556.3 + 615.838 (571.54)

DOI: 10.15372/GIPR20230313

М.К. ЧЕРНЯВСКИЙ, А.М. ПЛЮСНИН, А.В. УКРАИНЦЕВ

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН,
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия,
mitchel1977@mail.ru, plyusnin@ginst.ru, ukraintsev87@bk.ru

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕНГОРБОЙСКОГО ТЕРМАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Представлены результаты исследований термального Енгорбойского источника, расположенного в Закаменском районе Республики Бурятия (юго-западное Забайкалье). Этот источник уникален по химическому составу и геологическим условиям расположения. Он является единственным представителем азотных терм за пределами Байкальской рифтовой зоны в Западном Забайкалье и связан с Байкальским сводовым неоген-четвертичным поднятием. Его разгрузка происходит в отрогах Джидинского хребта, принадлежащего системе Хамар-Дабан. Представлены особенности геолого-географического строения территории и гидрогеологические условия разгрузки. Выявлено, что источник разгружается в трещиноватых породах, сформировавшихся в условиях растяжения при вздымании массива палеозойских гранитов. Установлено, что выход источника находится на пересечении крупного разлома северо-западного простирания с субширотным разломом. Сделан вывод, что состав воды источника формируется при контакте с интрузивными, эффузивными, метаморфическими и осадочными горными породами палеозойского, мезозойского и четвертичного возраста. Приведены новые данные о макро- и микроэлементном составе воды. Исследование показало, что по химическому составу воды источника относятся к гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатному кальциево-натриевому типу с минерализацией выше 1 г/л. Подтверждено, что для источника характерны высокие содержания бальнеологически активных компонентов — хлорида, фторида, кремниевой кислоты. С помощью кремниевого геотермометра рассчитаны максимальная температуры воды и глубина формирования терм, которые составляют 82 °С и 3,6 км соответственно. Дана характеристика современного состояния и перспективы использования источника для лечебных и рекреационных целей.

Ключевые слова: гидротермы, химический состав воды, кремниевый геотермометр, разломы, рекреационный потенциал, бальнеология.

M.K. CHERNYAVSKIY, A.M. PLYUSNIN, A.V. UKRAINTSEV

Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
670047, Ulan-Ude, ul. Sakhyanovoi, 6, Russia,
mitchel1977@mail.ru, plyusnin@ginst.ru, ukraintsev87@bk.ru

FORMATION CONDITIONS AND GEOECOLOGICAL FEATURES OF THE ENGORBOI THERMAL SPRING (REPUBLIC OF BURYATIA)

This article presents the results from studying the Engorboi thermal spring located in the Zakamensky district of the Republic of Buryatia (southwestern Transbaikalia). This spring is unique in its chemical composition and geological conditions. It is the only nitrogen thermal spring outside the Baikal Rift Zone in Western Transbaikalia. It belongs to the Baikal arch Neogene-Quaternary uplift. Its discharging takes place in the spurs of the Dzhida Range which belongs to the Khमार-Daban mountain system. The geological and geographical structure features of the surrounding territory and the hydrogeological conditions of water discharging are presented. The spring is unloaded in fissured rocks formed under tension conditions during uplift of the Paleozoic granite massif. The spring outlet is located at the intersection of a large northwest-trending fault with a sublatitudinal fault. The water composition is formed upon contact with intrusive, effusive, metamorphic and sedimentary rocks of Paleozoic, Mesozoic and Quaternary age. New data on the macro- and microcomponent composition of water are provided. According to its chemical composition, water belongs to the hydrocarbonate-chloride-sulfate calcium-sodium type with a mineralization above 1 g/L. It is demonstrated that the spring is characterized by high content of balneologically active components: chloride, fluoride, and silicic acid. Using a silicon geothermometer, the water spring temperature and the formation depth of hydrotherms were estimated as 82 °C and 3.6 km, respectively. A characteristic of the current status and prospects for using the spring for medical and recreational purposes are given.

Keywords: hydrotherms, chemical composition of water, silicon geothermometer, faults, recreational potential, balneology.

ВВЕДЕНИЕ

Республика Бурятия богата минеральными и термальными водами, различающимися по химическому составу и температуре. По своим лечебным свойствам воды минеральных источников региона не уступают водам всемирно известных курортов. В юго-западной части Бурятии известно несколько типов минеральных вод, но многие из них все еще слабо изучены с применением современных методов исследования [1–4].

Минеральные источники всегда имели особое значение для местных жителей. Издавна районы их расположения считались заповедными, а сами источники были местами поклонения и служили для исцеления. Родники, разгружающиеся на исследуемой территории, обладают комплексом гидро-минеральных и ландшафтно-климатических факторов, необходимых для реабилитации больных с большинством неинфекционных заболеваний. Здесь широко представлены азотные слабоминерализованные кремнистые термальные воды, однако степень их освоения относительно незначительна из-за ограниченных возможностей инфраструктуры. Эта бальнеологическая группа минеральных вод представляет собой ценный лечебный ресурс, имеет широкое применение в отечественной и зарубежной практике. Основными факторами, влияющими на бальнеологические свойства вод, являются их высокая температура и химический состав. Лечебное значение терм, кроме температурного фактора, определяется высоким содержанием кремниевой кислоты и повышенной щелочностью.

В долине р. Джиды находится уникальный Энгорбойский термальный источник. Он располагается за пределами Байкальской рифтовой зоны, геологические условия формирования его ресурсов и химического состава остаются до конца невыясненными.

Цель данной работы — выявление особенностей геолого-географического строения территории, прилегающей к Энгорбойскому источнику, выяснение влияния геологического строения на расположение места его разгрузки и химический состав, определение бальнеологического и рекреационного потенциала источника и перспектив использования в будущем.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служил Энгорбойский термальный источник (Энгорбойский, Аршан-Джидинский) ($50^{\circ}32'35,88''$ с. ш., $102^{\circ}51'42,54''$ в. д.), находящийся в пределах Байкальской складчатой области и относящийся к Восточно-Саянской области азотных, метановых и углекислых терм [2, 5, 6]. Выход источника приурочен к северо-восточному склону Джидинского хребта, входящего в систему Хамар-Дабан. Джидинский хребет протягивается примерно на 350 км с запада на восток, его водораздел служит границей России и Монголии (рис. 1). Максимальная высота хребта достигает 2035 м. Рельеф среднегорный с плоскими вершинами. Главный водораздел смещен к северу и приближен к р. Джиде. Наиболее высокие отметки располагаются в северо-западной части. Преобладающие высоты 1600–1750 м. Хребет сильно расчлененный, с многочисленными разноориентированными отрогами и узкими горными долинами, в одной из которых и разгружается Энгорбойский источник.

Склоны долины расчленены распадками с многочисленными выходами скальных пород и осыпями глыбового материала. Долина врезана в коренные породы на 200–300 м и имеет V-образный поперечный профиль. Данная территория относится к бассейну р. Джиды, которая является притоком р. Селенги. Разгрузка термальной воды происходит в среднем течении реки Аршан, берущей свое начало на склонах Джидинского хребта и впадающей в р. Джиду. Климат резко континентальный.

В ходе работы проводились полевые, камеральные и лабораторные исследования. В период полевых работ производилось маршрутное обследование места разгрузки источника, устанавливались особенности геологического строения, измерялся дебит и физико-химические параметры воды. Опробование источника на макро- и микроэлементный анализ осуществлялось в естественных выходах в соответствии с ГОСТ 31861-2012 [7]. На месте взятия пробы воды фильтровались через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм, производилась их консервация для определения микроэлементов, нитрата и железа, измерялись рН и температура. Макрокомпонентный состав воды определялся по общепринятым методикам определения массовых концентраций ионов в природных водах, включенных в реестр федеративных природоохранных нормативных документов, в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии; микроэлементный состав исследовался методом многокомпонентного анализа ICP MS с помощью прибора Element XR (Finnigan MAT) в центре коллективного пользования «Геоспектр» ГИН СО РАН.



Рис. 1. Спутниковый снимок района расположения Енгорбойского термального источника.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Геолого-географическая характеристика района. Район относится к переходной зоне между байкальской и палеозойской складчатыми областями [8]. Он был подвержен неогеновой тектонической активизации, в результате которой образовался современный рельеф. В районе преобладают древние кристаллические породы палеозойской эры, которые раздроблены многочисленными разрывными нарушениями. Они были образованы при вздымании Джидинского хребта, который представляет собой сводовое поднятие. Многие разломы относятся к сбросам. Вследствие вертикальных тектонических движений они длительное время остаются открытыми. Атмосферные и поверхностные воды проникают в недра в верхних частях гидрогеологического массива и перемещаются под воздействием гидростатического давления к его периферии [9]. Разгрузка происходит непосредственно из трещин в разнотермных гранитах палеозойского возраста. Выход источника приурочен к крупному тектоническому нарушению северо-западного направления в месте пересечения его разломом субширотного заложения.

Трещиноватость пород, вероятно, была сформирована в результате протекания горообразовательных процессов в пермский период и подновлена при внедрении гранитоидов в триасовый период мезозойской эры. Вздымание этого блока пород продолжается и в современную эпоху, разломы остаются открытыми для проникновения вод на глубину 2–3 км. Тектонические процессы, сформировавшие разломы, наблюдаются до сих пор. Это доказывается повышенной сейсмичностью района, оцененной в 6–7 баллов. Основная часть установленных разрывных нарушений имеет мезо-кайнозойский возраст. Многие разломы были заложены в позднем палеозое и впоследствии неоднократно обновлялись. По многим из них заложены русла рек и ручьев.

Ранее проведенными исследованиями вблизи Енгорбойского термального источника обнаружены проявления полезных ископаемых: молибдена, флюорита, титана и вольфрама, что отражается в повышенном содержании этих элементов в воде источника [10].

Наиболее широко распространены породы, представленные джидинским комплексом интрузивных пород раннепалеозойского возраста (рис. 2) [11]. Формирование интрузий джидинского комплекса проходило в три фазы: первая фаза — плагиограниты, гранодиориты, диориты, габбро-диориты и габбро (γ PZ); вторая — граниты, граносиениты, сиениты ($\gamma\epsilon$ PZ); третья — лейкократовые мелко- и среднетермные граниты ($\gamma\delta$ PZ), слагающие дайки мощностью до 3 м, которые распространены в северной части рассматриваемой территории. Место разгрузки термальной воды находится в поле распространения гранитов и граносиенитов второй фазы. Они прорывают отложения хохютовской

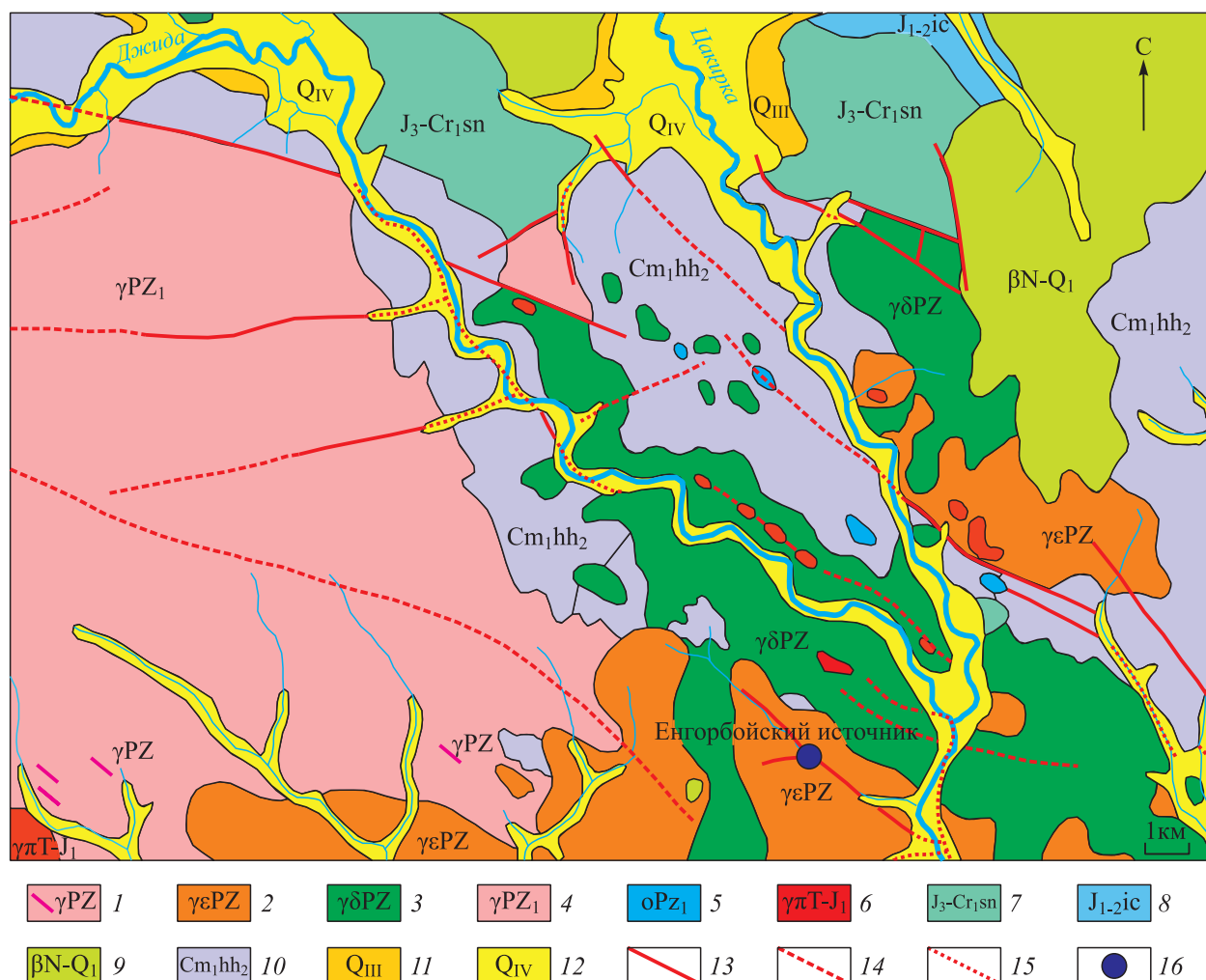


Рис. 2. Геологическое строение территории Енгорбойского источника азотных термальных вод [11].

1 — палеозойские интрузии джидинского комплекса, первая фаза (γPZ); 2 — палеозойские интрузии джидинского комплекса, вторая фаза (γεPZ); 3 — палеозойские интрузии джидинского комплекса, третья фаза (γδPZ); 4 — раннепалеозойские интрузии нишутуйского комплекса (γPZ₁); 5 — раннепалеозойские интрузии цакирского комплекса (oPZ₁); 6 — триасовые—раннеюрские интрузии гуджирского комплекса (γπT-J₁); 7 — сангинская свита юрского возраста (J₃-Cr₁sn); 8 — ичетуйская свита юрского возраста (J₁₋₂ic); 9 — неогеновые-нижнечетвертичные базальты (βN-Q₁); 10 — верхняя подсвита хохюртовской свиты кембрийского возраста (Cm₁hh₂); 11 — верхне-четвертичные отложения (Q_{III}); 12 — современные отложения (Q_{IV}). Линии тектонического контакта: 13 — достоверная; 14 — предполагаемая, 15 — под более молодыми отложениями и водой. 16 — Енгорбойский источник.

и джидинской свит нижнего кембрия, сформировавшихся в морских условиях. Хохюртовская свита представлена эффузивами, преимущественно основного состава, их туфами и кластолитами, силицитами, доломитами, известняками с прослоями кремнисто-карбонатных сланцев, алевролитами и аргиллитами. Возраст хохюртовской свиты принят как ранний—средний кембрий. Воды, разгружающиеся в источнике, вероятно, контактируют с верхней подсвитой (Cm₁hh₂) хохюртовской свиты, которая широко распространена в бассейнах рек Малой Шара-Азарги и Цакирки. В ее состав входят порфиры, туфоконгломераты, туфопесчаники, туфобрекчии, кварцевые порфиры, метаморфические и кремнистые сланцы с линзами и, что очень важно, известняки. Общая мощность верхней подсвиты составляет 1500–1800 м.

С внедрением гранитоидов второй фазы на этой территории связаны рудопроявления молибдена, меди, флюорита, железа, свинца, серебра, цинка, золота. Триасовые—раннеюрские интрузии гуджирского интрузивного комплекса слагают небольшие штоки и дайки гранитов и гранит-порфиров

($\gamma\tau\Gamma$ – J_1) северо-западного простирания протяженностью до нескольких сотен метров. С ними связаны известные редкометалльные проявления. Гранитоиды джидинского и гуджирского комплексов прорывают раннепалеозойские интрузии нашитуйского комплекса (γPZ_1), плагиограниты (γo), граниты и гранодиориты ($\gamma \delta$) цакирского комплекса (oPz_1).

На северо-западных склонах Джидинского хребта выделяется сангинская свита юрского возраста (J_3 – K_1sn). В ее состав входят конгломераты, гравелиты с прослоями и линзами песчаников и алевролитов. Ичетуйская свита юрского возраста (J_1 – $i\delta$) сложена трахиандезитовыми и трахибазальтовыми порфирами.

Неогеновые–нижнечетвертичные базальты βN – Q_1 находятся на водоразделе Джидинского хребта, прилегающего к долине р. Аршан в районе отметки 1648,3 м. Они залегают в виде покровов и потоков. Мощность покровов 100–200 м, потоков — 3–5 м. По минеральному составу они оливиновые.

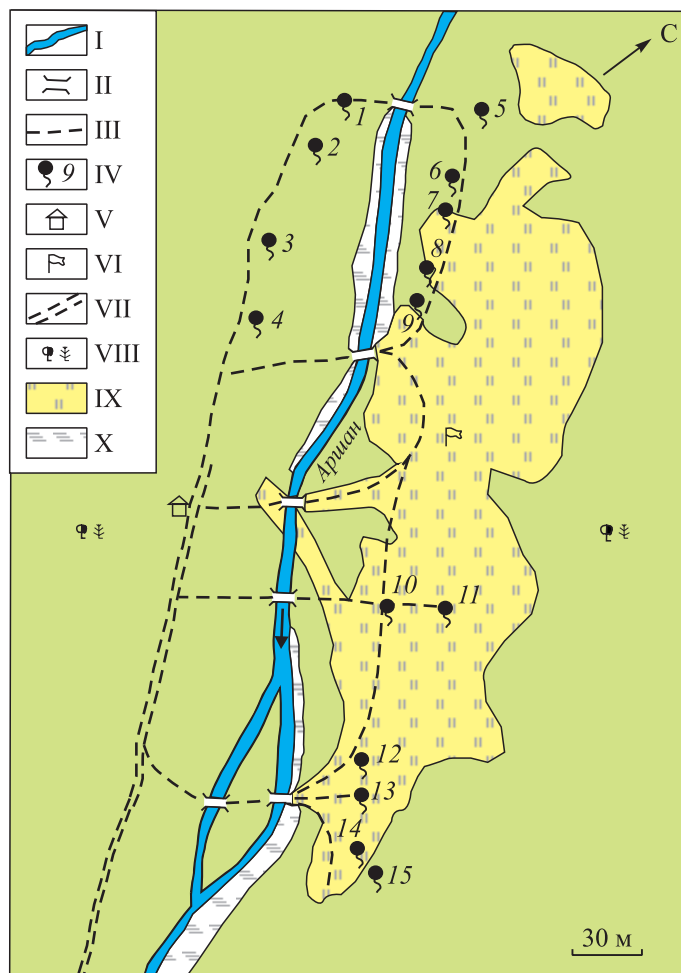
Несомненно, геологическое строение оказывает большое влияние не только на особенности размещения термальных источников, но и на химический состав этих вод. В районе выявлены метаморфогенно-осадочные отложения морского происхождения, при взаимодействии с которыми воды источника обогащаются различными компонентами морского генезиса, среди которых сульфат- и хлорид-ионы. На микроэлементный состав воды источника, несомненно, оказывает рудная минерализация, сформировавшаяся на этой территории при внедрении штоков и даек гранитов и гранитпорфиров Гуджирского интрузивного комплекса.

Гидрогеологические условия разгрузки гидротерм. Енгорбойский источник относится к азотным кремнистым термальным водам Горячинского типа, подтип — радоновые сульфатно-натриевые. Группа выходов теплой (31–41,6 °C) и холодной (до 12 °C) воды находится в 40 км от г. Закаменска и в 4 км северо-западнее улуса Енгорбой, в верхнем течении р. Джиды в правом борту долины р. Аршан, в 2,5 км от ее устья.

Разгрузка терм происходит двумя группами родников в 0,4–0,5 км одна от другой с юго-востока на северо-запад (рис. 3). Общий расход источника достигает 2–2,5 л/с, в газовом составе преобладает азот (94–96 %), содержание радона от 35 [4] до 48 эман [1]. Дебит родников колеблется от 0,1 до 1 л/с. Каждый из выходов термальной воды имеет свое название: Халуун (горячий), Табан аршан (пять источников), Бурхатай (Божественный), Шарын (вода применяется для лечения повышенной кислотности желудка), Зурхэнэй (при кардиологических заболеваниях), Хоолойн (при заболеваниях носоглотки), Нюрга-боорын (при заболеваниях почек и пояснично-крестцового отдела позвоночника), Ханяаданай (при заболеваниях дыхательных путей), Залуугай (для целей омоложения),

Рис. 3. Схема разгрузки Енгорбойского источника.

I — русло р. Енгорбой; II — пешеходный мост; III — тропа; IV — источник; V — база отдыха; VI — суборган; VII — дорога; VIII — смешанный лес; IX — луг; X — заболоченная местность. Выходы источников: 1 — Шарын; 2 — Бурхатай; 3 — Табан аршан; 4 — Халуун; 5 — Зурхэнэй; 6 — Хоолойн; 7 — Нюрга-боорын; 8 — Ханяаданай; 9 — Залуугай; 10 — Эльгэнэй; 11 — Хабын; 12 — Шудэнэй; 13 — Нюдэнэй; 14 — Шэхэнэй; 15 — Хотын аршаангууд.



Эльгэнэй (при заболеваниях печени), Хабын (при гинекологических заболеваниях), Шудэнэй (при стоматологических заболеваниях), Нюдэнэй (при офтальмологических заболеваниях), Шэхэнэй (при отитах), Хотын аршаангууд (при гастроэнтерологических заболеваниях).

Наиболее высокотемпературные воды разгружаются на правом берегу р. Аршан. Самыми высокотемпературными являются Бурхатай ($t = 41,6^\circ\text{C}$, pH 8,26, дебит 0,1 л/с), выходящий из-под скального обнажения гранитов и Халуун ($t = 38,3^\circ\text{C}$, pH 7,4, дебит 1 л/с). Интенсивность разгрузки источников различная, наибольшая наблюдается в районе аршанов, используемых для терапии заболеваний зубов, глаз, ушей и желудочно-кишечного тракта, представляющих единую группу выходов на левом берегу р. Аршан.

Формула Курлова для выхода Бурхатай имеет следующий вид:

$$M1,32 \frac{SO_4 77 Cl 12 HCO_3 11}{Na 93 Ca 7} pH 8,2 T 41,6. \quad (1)$$

Вода гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатная кальциево-натриевая с минерализацией 1,32 мг/дм³.

Физико-химические параметры других термальных источников: Шарын — $t = 34,4^\circ\text{C}$, pH 8,32; Табан аршан — $t = 31,9^\circ\text{C}$, pH 7,98; Нюрга-боорын — $t = 31,4^\circ\text{C}$, pH 8,49.

Ниже по течению реки располагается группа из источников, вода которых применяется для лечения заболеваний ротовой полости, глаз, ушей и желудочно-кишечного тракта. В отличие от остальных, эти источники являются холодными ($t = 12,1^\circ\text{C}$), они располагаются в наиболее низкой части поля, абсолютная отметка составляет 1216 м. Разгрузка происходит в подножии крутого склона у скального обнажения гранита. Суммарный дебит не более 1 л/с.

Химический состав вод. По химическому составу воды Енгорбойского источника относятся к гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатному кальциево-натриевому типу. Общая минерализация не характерна для акратотерм, которые характеризуются низкой минерализацией, здесь она в наиболее горячих водах превышает 1 г/л.

Для макросостава характерно преобладание сульфата, установлено высокое содержание хлорида, фторида и кремниевой кислоты, которые в термальных водах являются бальнеологически активными компонентами (табл. 1). В микрокомпонентном составе вод Енгорбойского источника высокими концентрациями выделяются стронций, редкие щелочные элементы, бор, вольфрам, молибден, фосфор (табл. 2). Токсичные элементы (хром, кадмий, мышьяк, бериллий) присутствуют в водах в незначительных концентрациях. Редкоземельные элементы обнаружены в небольшом количестве, их суммарная концентрация составляет 0,1353 мкг/дм³. Распределение лантаноидов не характерно для гранитоидов, в пределах которых происходит разгрузка этих вод. Вероятно, на их распределение в воде термального источника оказывают влияние разные геологические образования, с которыми взаимодействуют воды при фильтрации от районов питания к местам разгрузки.

Формирование водных ресурсов Енгорбойского источника происходит в достаточно сложной геологической обстановке, связанной с формированием купольной структуры. Атмосферные и поверхностные воды проникают в недра в пределах гидрогеологического массива и проходят длительный путь в 13–17 км по открытым молодым и подновленным разломам в породах различного возраста и состава [11]. Химический состав воды формируется при взаимодействии с интрузивными, эффузивными, метаморфическими и осадочными горными породами палеозойского, мезозойского и четвертичного возраста. В качестве основных факторов формирования химического состава терм выступают интенсивность водообмена, температура недр и геохимические особенности дренируемых термами пород [12].

Тепловой поток в районе выхода источников находится в пределах 50–75 мВт/м², что сопоставимо с величиной теплового потока в южной части Баргузинской долины и в дельте Селенги [13], где

Таблица 1

Макрокомпонентный состав вод родников Енгорбойского термального источника, мг/дм³

Название источника	$t, ^\circ\text{C}$	pH	мин. мг/дм ³	K + Na	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl	F	H ₄ SiO ₄
Божественный	41,6	8,26	1322,7	405,7	27,56	0,24	122,0	686,7	80,48	9,59	91,2
Шарын	34,4	8,32	1221,8	350,5	28,56	1,22	122,0	589,2	74,81	7,81	75,5
Нюрга-боорын	31,4	8,49	1003,4	274,9	24,55	5,47	120,5	481	47,86	4,51	65,0
Хотын аршаангууд	12,1	8,75	729,0	184,6	25,06	4,86	125,1	279,17	44,67	3,76	66,4
Халуун	38,3	8,53	1065,9	290,5	32,0	4,6	120,5	480,50	73,03	7,64	79,3

Таблица 2

Микроэлементный состав вод родника Халуун,
мкг/дм³

Химический элемент	Содержание	Химический элемент	Содержание
Li	580	Mo	0,019
Be	0,013	Rh	0,012
B	740	Pd	0,001
Al	11,8	Ag	0,018
Si	32 000	Cd	0,27
P	25	Sn	0,063
S	188 000	Sb	0,26
Sc	0,22	Te	0,008
Ti	4,4	I	8,7
V	1,78	Cs	113
Cr	0,69	Ba	21
Mn	1,57	Hf	0,001
Co	0,089	Ta	0,0019
Ni	1,28	W	129
Cu	1,67	Re	0,0034
Zn	8	Os	0,0006
Ga	0,129	Ir	<0,0004
Ge	4,8	Pt	<0,0007
As	2,8	Au	0,0027
Se	0,09	Hg	0,78
Br	166	Tl	0,144
Rb	154	Pb	1,24
Sr	1460	Bi	0,005
Y	0,029	Th	0,002
Zr	0,019	U	1,35

имеется несколько термальных источников. Но определяющим фактором нагревания воды выступает наличие глубоко проникающих разломов. По системе открытой трещиноватости, сформировавшейся в пределах разломов, вода движется от гидрогеологического массива к впадине, нагревается, взаимодействует с встречающимися породами и обогащается различными компонентами. На границе гидрогеологического массива и впадины по субвертикальному открытому разлому вода быстро поднимается к поверхности, сохраняя в своем составе большинство компонентов, за длительное время перешедших в раствор.

Для оценки глубинных температур применена методика, использующая данные о химическом составе гидротерм. Теоретически и экспериментально установлена зависимость концентрации кремнезема от температуры термальных источников, позволяющая по его концентрации оценить температуру на глубине формирования гидротерм, исходя из предположения о равновесии в системе «вода–порода–газ» и отсутствии значительного осаждения или растворения данного компонента по пути миграции из зоны нагрева к выходу источника на дневную поверхность [14–17].

Считается, что при быстром подъеме термальных вод к земной поверхности содержание кремниевой кислоты остается неизменным. Растворимость кварца зависит от температуры, поэтому она соответствует максимальной температуре, существующей на максимальной глубине проникновения термальных вод (t_h). Зная содержание кремниевой кислоты можно вычислить температуру гидротерм (°C) по формуле [18]. Для низкотемпературных малодобитных гидротерм она имеет следующий вид:

$$t \text{ SiO}_2 = [1051,1/(4,655 - \lg \text{SiO}_2)] - 273,15, \quad (2)$$

где $t \text{ SiO}_2$ — температура гидротерм на максимальной глубине, содержание SiO_2 выражено в мг/дм³.

Значения температур, полученные с помощью кремниевого геохимического термометра, соответствуют глубинам формирования основной части термальных вод, которые определяют их химический облик и тепловые характеристики.

Таким образом, переведя содержание H_4SiO_4 в SiO_2 и произведя расчеты, получаем следующие значения температур воды в источниках на максимальной глубине погружения, °C: Халуун — 82, Бурхатай — 89,3, Шарын — 77, Нюрга-боорын — 72, Хотын аршаангууд — 73,2.

На основании полученных значений глубинных температур t_h и величины регионального геотермического градиента, равного $\gamma = 25 \text{ }^\circ\text{C/км}$ [19], можно рассчитать глубину проникновения вод в недра по формуле

$$H = t_h / \gamma. \quad (3)$$

В результате расчетов получаем следующие глубины источников, км: Халуун — 3,3, Бурхатай — 3,6, Шарын — 3,1, Нюрга-боорын — 2,9, Хотын аршаангууд — 2,9.

Вероятнее всего, все рассматриваемые источники — и холодные, и теплые, несмотря на разницу температур на выходе, можно считать формирующимися в единой гидротермальной системе, только холодные в приповерхностных условиях подвергаются более сильному разбавлению грунтовыми и поверхностными водами.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КУРОРТА

Енгорбойский термальный источник представляет собой уникальное явление для Закаменского района Республики Бурятия и обладает высоким рекреационным [20], ландшафтно-климатическим и бальнеологическим потенциалом, который не используется в полной мере для удовлетворения спроса населения.

В настоящее время лечение и отдых возможно осуществлять только в теплое время года. Около источников имеются двухэтажные дома для отдыхающих, столовая, медпункт, ванны, баня и душевые. На базе минеральных источников функционирует небольшой пансионат (база отдыха) на 60 человек. Низкая посещаемость связана, прежде всего, с плохой транспортной доступностью (отсутствие моста через р. Джиду, наледи на дороге зимой), хотя по свойствам воды источников не уступают многим известным минеральным водам (Горячинск, Белокуриха, Цхалтубо и др.).

Термальный Енгорбойский источник имеет благоприятное для дальнейшего развития географическое положение — он находится в непосредственной близости от г. Закаменска. В связи с этим лечение (лечебно-оздоровительный туризм) на источниках будет возможно совместить с экотуризмом. Родники обладают подтвержденным длительной историей эксплуатацией лечебным эффектом — используются для лечения более двух веков. Они имеют достаточный дебит в пределах 2–2,5 л/с, а вода экологически безопасна для длительного применения. Лечебные процедуры на источнике в основном включают в себя различные ванны и купания в горячей воде. Ключевыми лечебными факторами, оказывающими благоприятное воздействие на организм человека, являются термальная вода комфортной температуры, насыщенная биологически активными элементами, а также ландшафтно-климатические условия.

Отличительная черта данного источника — расположенность в привлекательном живописном месте — в предгорьях хребта, в лесу, на берегу реки, т. е. там, где окружающая природа (климатогеографические характеристики) оказывает успокаивающее и оздоравливающее действие на человека.

Наличие достаточно протяженной термальной площадки, закрытость ее с трех сторон от ветров повлияли на формирование самобытного растительного мира и на своеобразие климата. В долине представлена вся типичная флора высокогорного Закаменского района, но за счет более мягкого климата растения крупнее, их вегетационный период продолжительнее.

На пути к источнику расположено множество религиозных, историко-культурных и природных достопримечательностей, которые можно посетить, не отклоняясь от основного маршрута.

В перспективе благоустройство источника и улучшение транспортной доступности к нему позволит использовать его круглый год и тем самым реализовать имеющийся рекреационный потенциал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На формирование ресурсов и химического состава вод Енгорбойского термального источника большое влияние оказывают особенности геологического развития территории. Геолого-структурные условия благоприятствуют проникновению поверхностных вод на глубину 3–4 км и взаимодействию с геологическими образованиями различного генезиса, что проявляется в своеобразном химическом составе вод этого источника и обуславливает его высокий бальнеологический потенциал.

Физико-географические условия, сложившиеся в месте разгрузки источника, способствуют формированию благоприятной обстановки для развития здесь оздоровительного и экологического туризма. Имеются объективные предпосылки для раскрытия бальнеологического, туристского и климатолечебного потенциала этой территории. Бережное использование природных компонентов и благоприятная социальная обстановка (транспортная доступность, развитая инфраструктура) приведут к улучшению качества жизни местного населения.

Для раскрытия бальнеологического потенциала территории необходимо проведение разведочных работ по уточнению границ термальной площади и увеличению ресурсов термальной воды.

В будущем необходимо провести оценку природного экологического потенциала, который в полной мере зависит от стабильности и ненарушенности структурных особенностей компонентов и всех функциональных связей геосистем [21].

Работа выполнена в рамках государственного задания Геологического института СО РАН по проекту АААА-А21-121011890033-1 «Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисенко И.М., Замана Л.В.** Минеральные воды Бурятской АССР. — Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1978. — 164 с.
2. **Минеральные** воды Южной части Восточной Сибири. Т. 1. / Под ред. В.Г. Ткачук, Н.И. Толстихина. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1961. — 348 с.
3. **Намсараев Б.Б., Данилова Э.В., Бархутова Д.Д., Хахинов В.В.** Минеральные источники и лечебные озера Южной Бурятии. — Улан-Удэ: Полиграфик, 2005. — 75 с.
4. **Ульзетуева И.Д., Хахинов В.В.** Гидрохимические исследования минеральных вод Юго-западного Забайкалья // Водные ресурсы. — 2011. — Т. 38, № 5. — С. 585–592.
5. **Современная Россия:** географическое описание нашего Отечества. Сибирь / Отв. ред. В.М. Котляков, Л.М. Корытный. — М.: Изд-во «Паулсен», 2020. — 511 с.
6. **Инженерно-геологическая** карта Бурятской АССР. М-б 1:1 500 000 / Ред. А.И. Ефимов. — М.: Министерство геологии СССР, 1970. — 1 л.
7. **ГОСТ 31861-2012.** Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. Water. General requirements for sampling: национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения: 2014-01-01. — М.: Федеральное агентство по техническому регулированию. Стандартинформ, 2013. — 60 с.
8. **Антощенко-Оленев И.В.** Кайнозой Джидинского района Забайкалья. Новосибирск: Изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1975. — 128 с.
9. **Плюснин А.М.** Формирование потока углекислого газа на территории северо-восточной Азии // Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (6–11 сентября 2021 г.). — Петропавловск-Камчатский: Изд-во Ин-та вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2021. — 171 с.
10. **Карта** полезных ископаемых СССР. М-б 1:200 000. Серия Западно-Забайкальская / Ред. П.И. Налетов. — СПб.: Изд-во Всерос. науч.-исслед. геолог. ин-та, 1969. — Л. М 48-ХІІІ.
11. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200 000. Серия Западно-Забайкальская / Ред. В.П. Арсентьев. — М.: Изд-во Аэрогеология, 1971. — Л. М-48-ХІІІ.
12. **Плюснин А.М., Замана Л.В., Шварцев С.Л., Токаренко О.Г., Чернявский М.К.** Гидрогеохимические особенности состава азотных гидротерм Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. — 2013. — Т. 54, № 5. — С. 647–664.
13. **Геотермическая** карта России. М-б 1:10 000 000 // Геологический атлас России. Раздел II. Геологическое строение и геофизическая характеристика недр. Серия: обзорные карты Российской Федерации м-ба 1:10 000 000 / Ред. А.А. Смыслов. — СПб.: Изд-во Всерос. науч.-исслед. геологич. ин-та, 1995. — 1 л.
14. **Дислер В.Н.** Происхождение и практическое использование кремнистых пород. — М.: Наука, 1987. — С. 128–140.
15. **Fouillac C., Michard G.** Sodium/Litium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs // Geochemics. — Vol. 10, N 81. — P. 55–57.
16. **Fournier R.O., Truesdell A.H.** An empirical Na-K-Ca chemical geothermometer for natural waters // Geochim. et Cosmochim. Acta. — 1973. — Vol. 37. — P. 1255–1275.
17. **Kharaka Y.K., Mariner R.N.** Thermal History of Sedimentary Basins, Methods and Case Histories. — New York: Springer-Verlag, 1989. — P. 99–117.
18. **Ильин В.А., Кононов В.И., Поляк Б.Г., Козловцева С.В.** Оценка глубинных температур с помощью гидрохимических показателей // Геохимия. — 1979. — № 6. — С. 888–901.
19. **Голубев В.А.** Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2007. — 222 с.
20. **Санжеев Э.Д.** Экономическая оценка рекреационных экосистемных услуг (на примере Республики Бурятия) // География и природ. ресурсы. — 2019. — № 2. — С. 141–146.
21. **Владимиров И.Н., Выркин В.Б., Ильичёва Е.А., Кобылкин Д.В., Павлов М.В., Ли Ц.** Природные условия и экологический потенциал геосистем центральной части Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // География и природ. ресурсы. — 2019. — № 3. — С. 95–105.

Поступила в редакцию 08.07.2022

После доработки 15.12.2022

Принята к публикации 05.04.2023