

В.Е. ГЛОТОВ*, В.В. КУЛАКОВ**

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,
685000, Магадан, ул. Портовая, 16, Россия, geoecol@neisri.ru

**Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56, Россия, vvkulakov@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АЗОТНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПРИОХОТЬЯ

Приведена сравнительная характеристика термальных источников, функционирующих на побережье Охотского моря — в Приохотье. В северном сегменте Приохотья подземная вода источников соленая и солоноватая, преимущественно хлоридного класса. Только один термальный источник (Хиимский) пресноводный. Температура воды варьирует от 22 до 63 °С. В западном сегменте вода источников пресная, гидрокарбонатного класса. Установлено, что термальные источники связаны с четвертичными дайками щелочных базальтов. Состав термальных вод обусловлен изменениями климата и криолитозоны, колебаниями уровня Охотского моря в позднелейстоцен-голоценовое время. Следствием этих процессов в северном сегменте Приохотья стало внедрение талассогенных вод в недра суши 18–9 тыс. л. н. В зоне контакта их с нагретыми дайками базальтов возникали восходящие струи термальных хлоридных вод. В западном Приохотье условия в позднелейстоцен-голоценовое время были благоприятны для образования мощной зоны пресных подземных вод. При контакте их с высокотемпературными дайками образуются термальные воды, состав которых близок к холодным водам зоны активного водообмена. Процесс формирования источников термальных вод в долинах водотоков происходит в две стадии. В первую поднимающиеся термальные струи рассеиваются в зоне активного водообмена. Новообразуемые минералы колюматируют трещины и поры, образуя термовыводящее жерло. Во второй стадии это жерло способствует возникновению и функционированию термального источника.

Ключевые слова: источники термальных подземных вод, тектоника, дайки базальтов, позднелейстоценово-голоценовые режимы подземных вод.

V.E. GLOTOV*, V.V. KULAKOV**

*North-Eastern Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences, 685000, Magadan, ul. Portovaya, 16, Russia, geoecol@neisri.ru

**Institute of Water and Ecological Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
680000, Khabarovsk, ul. Dikopol'tseva str., 56, Russia, vvkulakov@mail.ru

FEATURES OF THE FORMATION OF NITROGEN THERMAL SPRINGS OF PRIOKHOTYE

This article presents a comparative description of the thermal springs occurring on the coast of the Sea of Okhotsk, in the Priokhotye region. In the northern segment of Priokhotye, their groundwater is salty and brackish, mainly of the chloride class. Only one thermal spring (Khiimskii) is a freshwater spring. The water temperature varies from 22 to 63 °C. In the western segment, the water of the thermal springs is fresh, of the bicarbonate class. It is established that the thermal springs are associated with Quaternary dikes of alkaline basalts. The composition of thermal waters is governed by changes in climatic and permafrost conditions, and by fluctuations in the level of the Sea of Okhotsk in the Late Pleistocene-Holocene time. A consequence of these processes in the northern segment of Priokhotye was the introduction of thalassogenic waters to the bowels of the earth 18–9 thousand years ago. In the zone of their contact with the heated dikes of basalts, ascending jets of thermal chloride water appeared. In the western Priokhotye, the conditions in the Late Pleistocene-Holocene period were favorable for the formation of an extensive zone of fresh groundwater. Its contact with high-temperature dikes gives rise to thermal waters, the composition of which is close to the cold waters of the zone of active water exchange. The process of formation of thermal water springs in the valleys of watercourses takes place in two stages. First, the rising thermal jets are dispersed in the zone of active water exchange. Newly formed minerals colmate cracks and pores, forming a heat-removing vent. In the second stage, this vent contributes to the emergence and functioning of the thermal spring.

Keywords: springs of thermal groundwater, tectonics, basalt dikes, Late Pleistocene-Holocene regimes of groundwater.

ВВЕДЕНИЕ

Термальные источники относятся к числу очень редких природных объектов, происхождение которых вызывает большой интерес у специалистов и любителей природы. Вода этих источников обладает бальнеологическими свойствами, поэтому повсеместно используется населением для лечения различных заболеваний как неорганизованным образом («диким»), так и под контролем врачей в санаториях, домах отдыха и т. д. В последние годы прибрежные термы Магаданской области рассматриваются как объекты для создания баз отдыха для работников горнодобывающих отраслей. Эти источники могут стать основой для выращивания дефицитной на Крайнем Севере ягодной и овощной продукции. Перспективы использования термальных источников могут быть оценены только на основе знания об их происхождении.

Источники подземных вод с температурой выше 20 °С, в растворенном газе которых преобладает азот (термальные источники, азотные термы), на побережье Охотского моря (Приохотье) известны и изучены в районах, прилегающих к северному берегу моря (северный сегмент Приохотья) и к западному (западный сегмент) (рис. 1).

В северном сегменте, административно принадлежащем Магаданской области, воды термальных источников преимущественно солоноватые и соленые. Растворенные соли представлены хлоридами натрия, кальция, магния и др. от 1 до 17,8 г/дм³; класс воды, согласно классификации О.А. Алекина [1], хлоридный. В западном сегменте побережья все термальные источники, в том числе вблизи морского берега, питаются пресными водами гидрокарбонатного класса, в составе растворенных солей преобладает гидрокарбонат натрия, в меньшем количестве — сульфат натрия. Общее их количество не превышает 0,3 г/дм³.

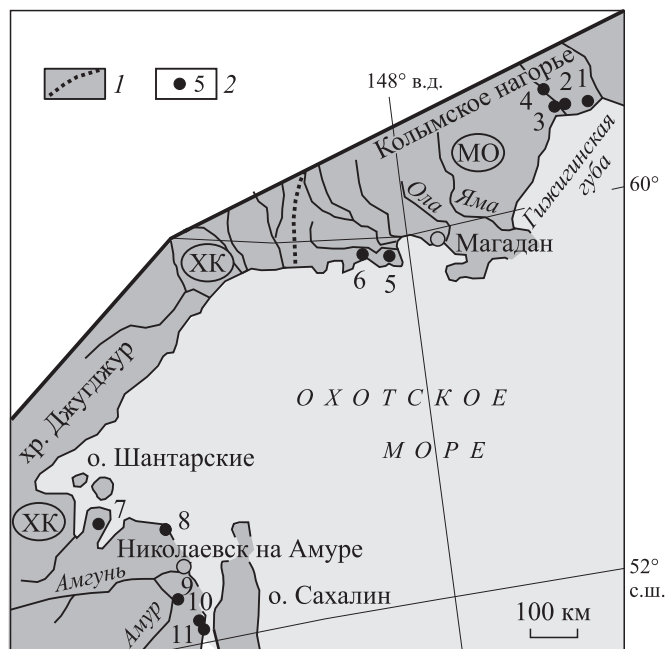
Вопросы формирования термальных источников рассматривались многими исследователями на протяжении 70 лет. Так, проблема происхождения прибрежных терм в Северном Приохотье освещалась А.И. Калабиным [2], В.Г. Гольдтманом [3], в монографии «Гидрогеология СССР» [4]. В Западном Приохотье прибрежные источники изучали специалисты научных и производственных организаций [5–10]. Все исследователи единодушно во мнении, что по происхождению термальные воды метеогенные. Пресные поверхностные и подземные или морские воды проникают по зонам тектонических разломов на глубину до 3–3,5 км, где нагреваются за счет тепла земных недр до 100 °С и более. При разгрузке термальные воды частично отдают тепло водовмещающим породам, большей частью охлаждаются за счет смешения с водами зоны активного водообмена.

Длительность водообменных процессов в термальной трещинно-жильной системе оценивается от нескольких тысяч до десятков тысяч лет. Следовательно, термальные воды частично или полностью сформировались в зоне затрудненного водообмена. По заключению В.А. Кирюхина, в этой зоне скорость движения подземных вод не превышает нескольких метров в год [11]. Гидростатическое давление трещинно-жильных вод на суше и шельфе повсеместно нормальное, превышает отметки уровня моря. Поэтому на базе сложившихся представлений о формировании термальных источников нельзя объяснить происхождение хлоридных солоноватых и соленых вод термальных источников в Северном Приохотье и гидрокарбонатных гидротерм с содержанием растворенных солей менее 0,3 г/дм³ в западном сегменте.

Цель исследования — выявить причины распространения прибрежных солоноватых и соленых хлоридных терм в Северном Приохотье, пресных гидрокарбонатных — в Западном.

Рис. 1. Карта-схема Приохотья.

1 — граница субъектов РФ — Хабаровского края (ХК) и Магаданской области (МО); 2 — термальный источник, его номер см. табл. 2.



ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Наиболее значимыми факторами формирования подземных вод являются рельеф, климатические (осадки и температура воздуха) и геологические особенности участков формирования гидротерм, гидрогеологические условия и распространение многолетнемерзлых пород.

Климат Приохотья определяется близостью к Охотскому морю, наиболее холодному в умеренных широтах планеты, и вытянутостью по меридиану примерно от 52°30' (пос. Лазарев) до 62° с. ш. (пос. Наяхан). Значения основных стокоформирующих показателей приведены в табл. 1.

Нужно учесть, что метеонаблюдения в пос. Наяхан были прекращены 33 года назад. За прошедшее время среднегодовая температура в Магадане поднялась на 2 °С [12], т. е. увеличение предполагается и в наиболее северном пункте изучаемого района Приохотья. Можно отметить относительно малые различия в минимальных значениях температур воздуха по всему Приохотью. Это объясняется тем, что холодное вдольбереговое течение, формируемое в районе п-ова Тайгонос, направлено к западному побережью. Это течение создает скопление льда в Сахалинском заливе и охлаждает атмосферу восточных районов Хабаровского края, что определяет сходные климатические факторы формирования подземных вод по всему побережью.

Рельеф в районах распространения термальных источников низкорельефный. Водоразделы ортогональны к побережью, отметки их сглаженных вершин не превышают 1000 м над ур. моря, понижаясь к морскому берегу до нескольких сот метров. Особенность участков разгрузки термальных вод в том, что все они находятся в днищах речных долин у подножий обрывистых берегов, в местах сочленения с поймами или руслами водотоков. Водосборная площадь их в створе термального источника не превышает первые 100–120 км².

Геологические особенности участков формирования гидротерм определяются тем, что источники тяготеют к гранитным массивам, контактирующим с полями вулканитов, в основном базальтов и андезитов.

Мерзлотно-гидрогеологические условия районов распространения и формирования термальных источников обусловлены их геологическими особенностями. На базе вулканических покровов, гранитоидных массивов и метаморфизованных осадочных пород сформировалась система гидрогеологических массивов и адмассивов. Подземные воды в них залегают и циркулируют в зонах тектонической и нетектонической трещиноватости. В адмассивах дополнительно возникают пластово-трещинные зоны по системам надвигов.

Распространенные в Приохотье многолетнемерзлые породы играют роль криогенного водоупора (КВ), закономерности развития которого в России изучены С.М. Фотиевым [14]. По его данным и с учетом наших дополнительных исследований [15, 16], в Приохотье выделено несколько поясов КВ.

Пояс слабопрерывистого распространения КВ — на побережье Гижигинской губы до северного обрмления Ямской. Температура кровли КВ на глубине 10–15 м от –3 до –8 °С, мощность на водоразделах и их склонах — до 300–350 м. В речных долинах, сложенных хорошо проницаемыми ледниковыми, водноледниковыми и аллювиальными отложениями мощностью больше глубины сезонного промерзания, т. е. более 4–5 м, образовались надмерзлотные талики, а в зонах тектонической трещиноватости и контакта гранитов и гранитоидных массивов — сквозные.

Пояс прерывистого распространения КВ — в горных районах от Ямской до Удской губы. Температура КВ — от –1,5 до –3 °С. Мощность его на водоразделах — до 150 м. Поясу свойственно широкое распространение сквозных таликов в долинах практически всех водотоков с площадью водосбора

Таблица 1

Климатические средние многолетние показатели Приохотья, по [13]

Пункты наблюдений, широта метеостанции	Период наблюдений, годы	Средние многолетние показатели					
		Температура воздуха, °С			Осадки, мм		
		min	max	средняя	min	max	среднее
Пос. Наяхан, 61°55' с. ш.	1940–1987	—	—	–4,3	—	—	463
Магадан, бухта Нагаева, 59°35' с. ш.	1932–2018	–6,1	0,1	–2,7	225	1004	561
Николаевск-на-Амуре, 53°15' с. ш.	1930–2018	–6,0	3,3	–1,7	199	900	650
Пос. Лазарев, 52°13' с. ш.	1931–2012	–5,0	3,0	–1,0	—	—	660

Примечание. Прочерк — нет данных.

более 10–15 км². Развита талика на горных склонах на участках накопления снега более 1,5–2 м. Этому поясу свойственно возрастание доли питания водотоков подземными водами по мере уменьшения их водосборной площади [17]. Надо отметить, что в этой зоне в ряде межгорных впадин вскрыты реликтовые КВ, мощность которых достигает 400 м, температура –1,5 °С [18].

В Западном Приохотье, на побережье Сахалинского залива и Амурского лимана, КВ имеет островной характер. В мерзлом состоянии часто находятся водораздельные территории или слабоводопроницаемые четвертичные отложения в межгорных впадинах, поэтому их гидрогеологическая роль мала. В поясе островного развития КВ мы выделяем зону полной деградации КВ, сформировавшуюся ранее в экстремально холодные криохроны плейстоцена. Эта зона развита в пределах горной страны Сихотэ-Алинь, включая и морское побережье Приморья.

Отмеченные географические, геологические и мерзлотно-гидрогеологические условия Приохотья отразились на особенностях формирования термальных источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматривая участки разгрузки термальных вод по всему Приохотью, заметим, что в естественных условиях струи термальной воды высачиваются из трещин в горных породах на высоте до 2–3 м от русла водотока. В пределах поймы и русла термальные воды выделяются из аллювиальных отложений, формируя четко выраженные участки разгрузки термальных вод. В общем случае горячие струи смешиваются с холодной пресной водой, что отражается на их составе и температуре. Характерные показатели источников приведены в табл. 2 на основании результатов разведочных гидрогеологических работ на Таватумских, Мотыклейских, Анненских источниках, в том числе таких, как бурение и опробование скважин глубиной до 250 м.

Таблица 2

Основные характеристики источников термальных вод Приохотья, по [4, 5, 8]

Номер источника	Название источника, местоположение; абс. отметка (максимальная), м	Температура, °С	Расстояние от моря, км	Дебит, л/с	Формула химического состава
Северное Приохотье					
1	Таватумский, верховья руч. Хоксичан, прав. притока р. Таватум; 60	61,0	7,2	18	$M17,8 \frac{Cl95}{Na53Ca44}$; pH 7,1
2	Широкий, у основания склона левого борта долины р. Широкой; 20,2	56,2	8,0	7,5	$M3,6 \frac{Cl98}{Na52 Ca46}$; pH 7
3	Березовый, пойма рек Широкая и Хиенда, у подножия склона; 25	22,0	11,0	4	$M1,6 \frac{Cl98}{Na52 Ca46}$; pH 6,4
4	Хиим, верховья р. Широкой, у подножия склона; 102	34,0	19,0	0,25	$M0,18 \frac{SO46(CO_3 + HCO_3)28Cl23}{Na77Ca13}$; pH 7,2
5	Мотыклейский, в пойме р. Улукан; 5,5	43,0	5,5	7	$M8,1 \frac{Cl99}{Ca65 Na32}$; pH 6,8
6	Беренджинский, в среднем течении р. Беренджа; 8,3	37,0	2,5	160	$M2,2 \frac{Cl98}{Na51Ca49}$; pH 6,8
Западное Приохотье					
7	Альский, в верховьях р. Ала; 35	21,2	10	6	$M0,08 \frac{HCO_357 SO_434}{(Na + K)88Ca12}$; pH 7,6
8	Ульский, в долине притока р. Ул Морской; 15	36,0	0,5	0,3	$M0,16 \frac{HCO_357 SO_429}{(Na + K)95}$; pH 7,2
9	Анненский, верховья руч. Амурчик, прав. притока р. Амур; 53	54,0	~ 50	12,5	$M0,26 \frac{(HCO_3 + CO_3)67SO_424}{Na94}$; pH 8,5
10	Лазаревский, уступ морской террасы; около 2	25,0	0,2	0,2	$M0,17 \frac{HCO_392}{Na95}$; pH 8,3
11	Чомэнский, верховье левого притока р. Чомэн; 57	35,0	~ 13	1,2	$M0,17 \frac{HCO_389}{Na91}$; pH 8,2

При опробовании скважин замечено, что при пересечении водоносных четвертичных образований и их изоляции минерализация и температура термальных вод возрастают. Так, на Мотыклейских источниках А.П. Хмелинин в 1944 г. впервые взял пробы воды, замерил ее температуру в естественных струях и пришел к выводу, что источники разгружаются в поле развития аллювиальных отложений [19]. Наиболее высокая температура на выходе термальных вод — 27 °С, содержание солей — 2,5–3 г/дм³. По данным И.Г. Шабарина [19], полученным при бурении скважин в 1965–1970 гг. после обсадки и изоляции водоносных отложений в зоне активного водообмена, выход термальных источников приурочен к зоне дробления эффузивов нижнемелового возраста на контакте с верхнемеловым гранитоидным массивом. Ширина зоны — от 40–60 до 250–300 м. Максимальная минерализация достигала 8,5 г/дм³, температура — 43,2 °С. По результатам разведочных работ, запасы бальнеологических вод, защищенные в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых, достигали 7 л/с [20].

В том случае, если выходы термальных вод приурочены не только к пойме водотока, но и к полевой террасе, бурение и опробование глубоких скважин существенных изменений температуры и минерализации воды не показывают. Так, в Таватумских источниках в естественных условиях температура выходов воды из трещин в эффузивных породах в 2 м выше русла 57 °С, минерализация — 15,3 г/дм³. При бурении и опробовании скважин глубиной 150 м в зоне дробленных горных пород вскрыты хлоридные термальные воды, минерализация которых составляет 17,8 г/дм³, температура около 61 °С. Состав растворенных компонентов практически не меняется, т. е. разбавление и охлаждение термальных вод происходит за счет смешения с ультрапресными водами зоны активного водообмена.

Интересные результаты получены при разведочных гидрогеологических работах на Анненских термальных источниках [5, 6]. Установлено, что в естественных условиях разгрузка терм происходит в толщу гравийно-галечных аллювиальных отложений мощностью 5–8 м. В этой толще и в подстилающих трещиноватых породах существует жерло трубообразной или воронкообразной формы. Жерло погружается вертикально вниз в толщу дробленных горных пород в зоне разлома, на контакте порфиринов и туфогенно-осадочных пород верхнемелового возраста. Оболочка жерла сложена дробленными породами или гравийно-галечными отложениями, сцементированными новообразованными глинами и кварцем [6]. На Анненских термах выявлен еще один интересный факт — субгоризонтальное залегание зон милонитизации и брекчирования пород. Это указывает на распространение надвигов в районах термальных источников.

Многолетние режимные наблюдения, проведенные на Таватумских и Мотыклейских источниках, показали, что в самоизливающихся скважинах наиболее высокие значения температуры и минерализации воды наблюдаются в январе–феврале, а наименьшие — в июле–августе [4]. При этом амплитуда колебания минерализации около 2 г/дм³, температуры — около 2,5 °С. Аналогичные изменения выявлены в режиме термальных вод Анненского источника [6]. Скорее всего, это указывает на повсеместное проявление наибольшего притока холодной пресной воды в конце летнего периода, а минимального — в зимнее время.

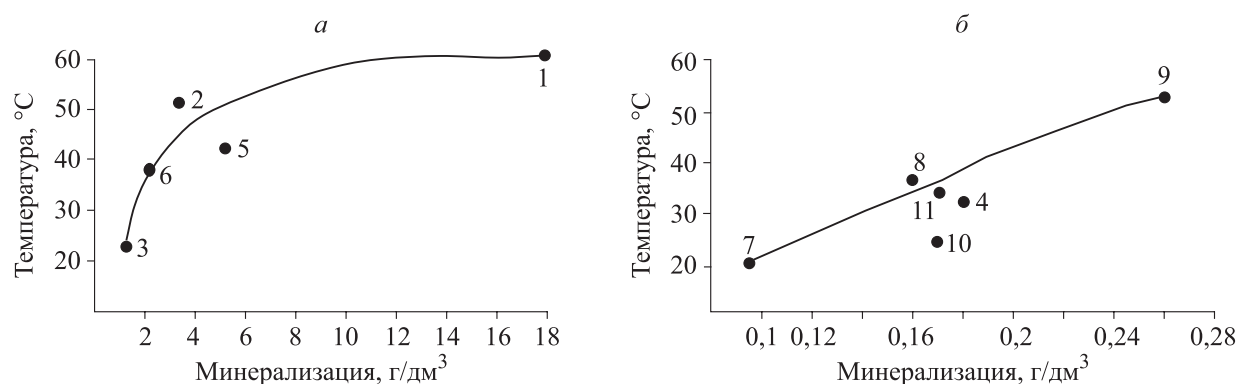


Рис. 2. Связь температуры воды термальных источников Приохотья с минерализацией, по [20].

a — солоноватые и соленые хлоридные термы; *b* — пресные гидрокарбонатные термы. Источники: 1 — Таватумские, 2 — Широкинские, 3 — Березовые, 4 — Хиимские, 5 — Мотыклейские, 6 — Беренджинские, 7 — Альские, 8 — Ульские, 9 — Анненские, 10 — Лазаревские, 11 — Чомэнские.

В целом для хлоридных термальных вод характерна экспоненциальная связь общей минерализации и температуры (рис. 2, а). Так как в изучаемом регионе нет иных источников хлоридных солей, кроме моря, то можно считать, что общая минерализация термальных хлоридных вод не превышает 34 г/дм³, т. е. наибольшей солености Охотского моря. При данной минерализации по графику (см. рис. 2, а) определим возможную максимальную температуру воды в 64 °С, т. е. она достаточно близка к температуре Таватумских терм.

Для пресных термальных вод Западного Приохотья и источника Хиим северного сегмента зависимость температуры от минерализации носит линейный характер (см. рис. 2, б). Содержание хлорид-иона в солоноватых и соленых источниках связано с температурой воды, что соответствует предположению о смешении ультрапресных холодных вод зоны активного водообмена с термальными. В пресных гидрокарбонатных термах содержание хлор-иона в растворе не превышает 7 мг/дм³.

Выявленные особенности проявлений термальных источников дают основание для выводов генетического характера.

С позиций современных тектонических представлений орогенез, формирование вулканических полей и гранитоидный магматизм не являются завершением геологической истории. В Приохотье наблюдаются все признаки современной тектонической активизации [18, 21], которая проявляется и в возникновении гидрогеологических феноменов — значительных колебаний расходов воды в некоторых реках в зимнее время [22–24]. Однако наиболее значимые гидрогеологические последствия имеют прорывы базальтовой магмы, в том числе современные [25, 26]. Они отмечены по окраинным зонам гранитных интрузий верхнемелового и палеогенового возраста на площадях с утоненной континентальной корой, с относительно неглубоким залеганием мантии (около 30 км) [27]. Сформировавшиеся в верхнем мелу и палеогене гранитные интрузии находятся в постоянном изостатическом всплывании из-за меньшей их плотности относительно вмещающих пород. Избирательное поднятие гранитных масс продолжается и в настоящее время. Это движение вверх происходит определенными импульсами. Двигутся крупные блоки земной коры, ограниченные разломами, включающие в себя гранитные массивы [28]. По этим разломам мантийные базальты поднимаются до уровня в сотни метров глубины от дневной поверхности, являясь источником тепла для подземных вод. В силу этого термальные источники тяготеют к разломам, контролирующим гранитные массивы, и к самим массивам. Если бы источником тепла для подземных вод были земные недра, то термальные источники могли существовать повсеместно в зонах глубинных долгоживущих разломов, в том числе в пределах земной коры большой мощности.

В гидрогеологических массивах и адмассивах нет условий для аккумуляции в недрах значительных скоплений подземных вод. Вместе с тем источники функционируют, изливая в сутки до 1 тыс. м³ воды, по исторически достоверным сведениям не менее 100 лет, с достаточно устойчивым режимом. Следовательно, существует механизм, определяющий стабильную инфильтрацию морских и пресных вод к источникам тепла в недрах — базальтовым дайкам. В современных условиях в северном сегменте Приохотья, за исключением низменных морских побережий, давление столба морской воды меньше давления столба пресной. Поэтому подземные пресные воды зон разломов разгружаются на шельфе [16]. Можно утверждать, что теплоносущие дайки в Северном Приохотье внедрились в приконтактные зоны в то время, когда в этих зонах содержалась хлоридная талассогенная вода. Появление нового объекта тепловой энергии способствовало возникновению термолифтинга — перетока нагретой воды в вышележащие обезвоженные трещинные емкости и подтока морской воды в недра суши без образования термальных источников. Такое было возможно в период смены регрессивного режима региональной сработки ресурсов подземных вод, существовавшего во время позднеплейстоценового криохрона, на ингрессивный — примерно от 18 до 9 тыс. л. н. Существование периода региональной сработки ресурсов подземных вод в позднеплейстоценовый криохрон с последующей краткосрочной ингрессией морских вод — характерная особенность всего северо-востока России [26].

Особенность ингрессивного режима — отсутствие областей разгрузки подземных вод до конца пребореальной стадии голоценового периода. Господствовали процессы инфильтрации в недра суши из акватории наступающего моря. Талассогенные воды проникали по зонам разломов в недра на расстояние до 40 км от современного морского побережья. Создание очагов термолифтинга обуславливает и современную миграцию хлоридной воды из моря в пределы суши.

По мере формирования сквозных водопоглощающих таликов в руслах водотоков над базальтовыми дайками происходил процесс создания жерла разгрузки термальных вод. По-видимому, он был достаточно продолжительным, не менее нескольких сот лет. В течение этого периода разгрузка тер-

мальных вод носила характер рассеянного перетока нагретых вод в объекты зоны активного водообмена. Например, на участке современных Мотыклейских источников в середине XVII в. существовала зимняя стоянка казаков-землепроходцев, а в 3–4 км от этой базы находилось поселение местных жителей. Однако никаких сведений об источниках теплых соленых вод не было [30]. Они появились только в XIX в. после образования сосредоточенных очагов разгрузки теплых вод по новосозданным жерлам.

Концентрированная разгрузка предопределяет равновесное поступление к очагу тепла морской воды и холодной ультрапресной, поэтому зависимость общей минерализации от температуры носит экспоненциальный характер. Допускаем, что возникновение термального источника происходит в две стадии. На первой, после внедрения дайки в водоносную зону трещиноватости, образуется скрытый рассеянный очаг разгрузки термальной воды, в котором насыщаются новообразуемыми минералами подземные емкости с трещинной и/или поровой водопроницаемостью. Постепенно трещины и/или поры заполняются продуктами минералообразования, создавая оболочки субвертикального потока термальных вод, названного Н.М. Богатковым и В.В. Кулаковым «термовыводящим жерлом» [6].

Сосредоточенная разгрузка термальных вод может продолжаться, видимо, не более нескольких сотен лет. Например, районы голоценовой вулканической деятельности в бассейне р. Большой Анюй уже лишены термальных источников. Вместе с тем современная неотектоническая активность допускает вероятность внедрения новых базальтовых даек, с созданием внутриземных, рассеянной разгрузки термальных вод. Для поисков их, видимо, перспективны методы естественного электрического поля и магнитометрии, эффективность которых доказана при гидрогеологических работах [7]. В долинах крупных по водосборной площади водотоков активность водообменных процессов не позволяет формировать термовыводящие жерла, поэтому там сосредоточенной разгрузки термальных вод нет.

В западном сегменте Приохотья формирование подземных вод в позднеплейстоцен-голоценовое время и образование термальных источников имеют другие особенности. Это связано с существованием здесь таких значительных водных объектов, как р. Амур и ее приток — р. Амгунь, крупных рек Тугур и Уда, которые существовали и в позднеплейстоценовый криохрон. При этом амурская долина в нижнем течении, примерно от пос. Циммермановка до Николаевска-на-Амуре, имеет субмеридиональное простираание, параллельное системе хребтов Сихотэ-Алиня. Поэтому в верхнеплейстоценовый криохрон развившаяся сплошная криолитозона охватила эту горную страну до побережий Охотского и Японского морей, прервав инфильтрационный водообмен в горных районах.

В этот исторический период уровень Мирового океана понизился на 100–150 м относительно современного. Амурские подрусовые воды свободно фильтровались к морю от речной долины, не встречая противотока подземных вод в системе хребтов Сихотэ-Алиня. Аналогичный процесс фильтрации пресных вод к морю мог существовать и в подрусовых водах долин рек Тугур, Амгунь и, возможно, Уда. Это способствовало возникновению в Западном Приохотье в прибрежной равнинной зоне в голоцене обращенной гидрохимической зональности [31].

Вместе с тем в зоне влияния внедрившихся базальтовых даек в прибрежных горах содержатся пресные маломинерализованные воды, на состав которых влияют только температура воды и наличие растворенной углекислоты. Пресная вода, охлаждающая гидротермы, маломинерализованная, что отражается на линейной связи температуры термальной воды и ее общей минерализации. Выпадающие из растворов минералы постепенно создают термовыводящее жерло, которое можно выявить на участках всех термальных источников. Однако даже в прибрежной морской зоне содержание хлор-иона в водах Альских, Ульских, Лазаревских источников не более 5–7 мг/дм³. Отсутствие влияния морских вод на питание термальных источников отмечено и в Северном Приохотье, но на удалении от морского берега не менее 20 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ прибрежных термальных источников Приохотья показывает их связь с процессами внедрения базальтовых даек на площадях с относительно сокращенной (на 10–15 км) мощностью земной коры. Внедрение даек вызвано изостатическим поднятием гранитных массивов, поэтому термальные источники тяготеют к этим массивам.

Химический состав термальных вод в северном сегменте Приохотья, как и в западном, отражает особенности гидрогеологических и мерзлотных процессов в верхнем плейстоцене–голоцене. В Северном Приохотье отсутствие значительных водных объектов вызвало в позднем плейстоценовом

криохроне, при понижении уровня Мирового океана, формирование особого режима региональной сработки ресурсов подземных вод. Этот режим примерно 18 тыс. л. н. сменился режимом подземной ингрессии морских вод в пределы суши. При внедрении базальтовых даек данные воды сформировали гидротермы хлоридного класса.

В западном сегменте развитие сплошной криолитозоны при понижении уровня Охотского моря активизировало инфильтрацию подрусловых вод к морю от долины р. Амур и других крупных рек и формирование мощной толщи пресных вод в прибрежно-морской зоне. Наличие этой толщи привело к образованию здесь маломинерализованных термальных источников.

В процессе формирования термальных источников выделяются две стадии: первая — существование очага рассеянной скрытой разгрузки в подземные емкости разной природы с созданием из новообразуемых минералов оболочки сосредоточенной разгрузки — термовыводящего жерла; вторая — выходы струй термальной воды по термовыводящему жерлу в долины водотоков. Остывание дайки приведет к разгрузке холодных подземных вод. Возможно и современное внедрение даек с новообразованием рассеянных (скрытых) очагов разгрузки термальных вод, для поиска которых перспективны геофизические методы.

Для практического использования можно создавать искусственные источники термальных вод методом техногенной локализации этих очагов. Новые знания о процессах формирования термальных источников могут быть использованы при составлении проектов управления их качественным составом и температурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алекин О.А.** Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1953. — 298 с.
2. **Калабин А.И.** Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР: Труды ВНИИ золота и редких металлов. — Магадан: Изд-во Всесоюз. НИИ золота и редких металлов, 1960. — Т. 18. — 470 с.
3. **Гольдтман В.Г.** К вопросу формирования береговых терм Северо-Востока СССР // Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока. — М.: Наука, 1967. — С. 139–150.
4. **Гидрогеология СССР.** Т. 26: Северо-Восток СССР / Ред. О.Н. Толстихин. — М.: Недра, 1972. — 297 с.
5. **Богатков Н.М.** Гидрогеология месторождений минеральных подземных вод // Гидрогеология СССР. Т. 23: Хабаровский край и Амурская область. — М.: Недра, 1971. — С. 277–316.
6. **Богатков Н.М., Кулаков В.В.** Анненские термы // Советская геология. — 1966. — № 5. — С. 133–155.
7. **Кулаков В.В.** Геолого-структурные и геотермальные условия формирования термальных подземных вод Приамурья // Тихоокеанская геология. — 2014. — Т. 33, № 5. — С. 66–79.
8. **Кулаков В.В., Сидоренко С.В.** Минеральные воды и лечебные грязи Приамурья. — Хабаровск: Изд-во Дальневост. мед. ун-та, 2017. — 474 с.
9. **Челноков Г.А., Брагин И.В., Харитонов Н.А., Александров И.А., Ивин В.В., Челнокова Б.И.** Геохимия и условия формирования Ульского термального источника (охотоморское побережье, Хабаровский край) // Тихоокеанская геология. — 2019. — Т. 38, № 2. — С. 73–85.
10. **Брагин И.В., Вельдемар А.А., Павлов А.А., Челноков Г.А., Харитонов Н.А.** Особенности поведения редкоземельных элементов и условия питания термальных вод охотоморского побережья // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы IV Всерос. конф. с междунар. участием (Улан-Удэ, 17–20 авг. 2020 г.). — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. науч. центра СО РАН, 2020. — С. 57–60.
11. **Кирюхин В.А.** Зональность подземных вод // Гидрогеология СССР. Т. 23: Хабаровский край и Амурская обл. — М.: Недра, 1971. — С. 250–255.
12. **Доклад об экологической ситуации в Магаданской области в 2018 г.** [Электронный ресурс]. — GOS-DOKLAD_2018_final.pdf (дата обращения 20.09.2020).
13. **Погода и климат** [Электронный ресурс]. — www.pogodaklimat.ru/climate/31369 (дата обращения 27.07.2020).
14. **Фотиев С.М.** Подземные воды криогенной области России (классификация) // Криосфера Земли. — 2013. — Т. 17, № 2. — С. 41–59.
15. **Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Роль подземных вод в формировании стока рек бассейна Примагаданского шельфа // Криосфера Земли. — 2012. — Т. 16, № 4. — С. 57–66.
16. **Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Химические показатели водообмена в североохотоморской прибрежной зоне // Вода: химия и экология. — 2014. — № 10. — С. 24–31.
17. **Глотов В.Е.** Районирование Северо-Востока России по степени участия подземных вод в формировании общего речного стока // Факторы формирования общего водного стока малых горных рек в Субарктике (по материалам Колымской воднобалансовой станции). — Магадан: Изд-во Сев.-Вост. компл. НИИ ДВО РАН, 2002. — С. 182–201.
18. **Зуев И.А.** Геокриологические, геотермические и сейсмические особенности Приохотской рифтовой зоны в районе Тауйской губы // Колыма. — 1995. — № 9–10. — С. 8–15.

19. Глотов В.Е., Глотова Л.П. История открытия, изучения и освоения термоминеральных ресурсов Северо-Востока России // Материалы конф., посвящ. 50-летию Магаданской области. Магадан, 18–19 марта 2004 г. — Магадан: Изд-во Сев.-Вост. компл. НИИ ДВО РАН. 2004. — С. 109–117.
20. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Бальнеологические ресурсы Магаданской области: особенности формирования и распространения // Вестн. Сев.-Вост. науч. центра ДВО РАН. — 2017. — № 4. — С. 13–24.
21. Леонова В.В., Акинин В.В., Альшевский А.В., Ползуненков Г.О. Новые местонахождения кайнозойских щелочных базальтоидов с мантийными включениями в Северном Приохотье (Сеймканские проявления) // Тихоокеан. геология. — 2015. — Т. 34, № 4. — С. 53–66.
22. Сидоров А.А., Волков А.В., Глотов В.Е. Современная гидродинамическая активность субмеридиональных зон глубинных разломов как индикатор нефтегазоносности осадочных бассейнов (Северо-Восток России) // Докл. РАН. — 2013. — Т. 446, № 1. — С. 2–6.
23. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Роль террейновой тектоники в формировании подземного стока зоны активного водообмена в долинах горных рек криолитозоны // Тихоокеанская геология. — 2011. — Т. 30, № 5. — С. 93–104.
24. Глотов В.Е., Глотова Л.П., Ушаков М.В. Аномальные изменения режима водного стока реки Колымы в зимнюю межень // Криосфера Земли. — 2011. — Т. 15, № 1. — С. 52–60.
25. Леонова В.В. Проявления кайнозойских щелочных базальтов вблизи гранитных массивов мелового возраста // Геология, география и биологическое разнообразие Северо-Востока России: Материалы III Всеросс. науч. конф., посвящ. памяти А.П. Васильковского. — Магадан: Изд-во Сев.-Вост. компл. НИИ ДВО РАН, 2016. — С. 152–155.
26. Караго Е.Н., Евдокимов А.Н. Постмиоценовый континентальный щелочно-базальтовый вулканизм Северной Евразии // Петрология. — 1999. — Т. 7, № 1. — С. 80–98.
27. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Власова Г.Л., Мерлин Е.Г., Миронов Ю.В., Рожкова В.В., Соловьев А.А. Зоны субдукции: действующие силы, геодинамические типы, сейсмичность и металлогения // Вестн. Отд. геологии, геофизики, геохимии и горных наук РАН. — 2000. — Т. 1, № 2 (12). — С. 1–11.
28. Лишневский Э.И., Шевченко В.К., Бронгулеев В.В. Геологические признаки и проблема постмагматического поднятия гранитов (на примере Нижнего Приамурья и Западного Приохотья) // Геотектоника. — 1976. — № 5. — С. 93–100.
29. Глотов В.Е. Формирование подземных вод в позднечетвертичное время на Северо-Востоке России // Вестн. Сев.-Вост. науч. центра ДВО РАН. — 2020. — № 2. — С. 22–33.
30. Леонтьев В.В., Новикова К.А. Топонимический словарь Северо-Востока СССР. — Магадан: Кн. изд-во, 1989. — 456 с.
31. Гидрогеология СССР. Т. 23: Хабаровский край и Амурская область / Ред. Н.А. Маринов. — М.: Недра. 1971. — 514 с.

Поступила в редакцию 09.12.2020

После доработки 16.04.2021

Принята к публикации 29.12.2021