

УДК 543.38(571.620)

КОМПЛЕКСНАЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ТУМНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯВ.А. Потурай¹, С.С. Строчинская², В.Н. Компаниченко¹¹Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679000,
e-mail: poturay85@yandex.ru, kompanv@yandex.ru;²Санаторий-профилакторий «Горячий ключ» ДСС ДВОСТ ж.д.- филиала ОАО «РЖД»,
Хабаровский край, Ванинский р-н, п. Тумнин,
e-mail: sveta-strochinskaja@rambler.ru

В работе приводятся результаты комплексного биогеохимического исследования термальной воды Тумнинского геотермального месторождения. Термальные воды слабоминерализованные, щелочные, гидрокарбонатно-натриевые. Микроэлементный состав характеризуется повышенным содержанием мышьяка, железа, марганца, молибдена, серебра и хрома. Среди органических соединений преобладают терпены, алканы, изоалканы и эфир. Молекулярно-массовое распределение углеводов указывает на биогенный, преимущественно бактериальный генезис органического вещества.

Ключевые слова: ионный состав, микроэлементы, органическое вещество, алканы, генезис.

Актуальность

Тумнинские термы относятся к группе азотных термальных вод, которая широко распространена в пределах континентальной части российского Дальнего Востока. Формирование этой группы источников обусловлено наличием разрывных нарушений и зон тектонической трещиноватости в массивах кристаллических пород, а нагревание происходит за счет нормального «платформенного» термоградиента. На их базе действуют различные санатории и бальнеолечебницы, что делает важным контроль качества термальной воды, используемой для лечения людей. Кроме этого, несмотря на многочисленные исследования, химический состав воды является не до конца изученным, в частности, состав органического вещества. Ранее Тумнинские термальные воды подвергались широкому исследованию ионного, микроэлементного и газового составов [1–3, 5, 6, 15]. Кроме этого, был изучен и качественный состав органического вещества в термальных водах Дальнего Востока [8–10, 13, 18, 19] и Тумнинских терм в частности [7, 11]. Однако комплексной биогеохимической характеристики Тумнинского термального поля, включающей в себя изучение ионного и микроэлементного состава, общей радиоактивности и состава органического вещества, проведено не было, что и явилось целью настоящей работы.

Объект и методы

Тумнинские термальные воды находятся в Хабаровском крае, примерно в 30 км от Татарского пролива, северо-западнее г. Советская Гавань (рис. 1). Они принадлежат Буреинско-Охотской области распространения азотных терм и связаны с крупной зоной тектонического контакта гранитов и андезито-базальтов кузнецовской свиты эоцена. На Тумнинском участке развиты в равной степени интрузивные умеренно кислые породы на западной и эффузивные основные на восточной половинах участка, разделяемые сбросом [2, 5, 6].

Выходы источников приурочены к левобережной части долины горного руч. Чопэ, правого притока р. Тумнин. В пределах участка существуют порово-пластовые, трещинно-пластовые и трещинно-жильные воды. На месторождении эксплуатируются две скважины № 8 и № 9, с температурой воды 46 °С и 43 °С и глубиной 532 и 300 м соответственно (рис. 2 и 3). Скважины располагаются в санитарной зоне строгого режима, выше поселка Тумнин и инфраструктуры санаториев по течению ручья. Базовая температура по кварцу – 86 °С [15]. Дебит скважин составляет 700 м³/сут. Растворенные газы представлены, в основном, атмосферным азотом с незначительной примесью других газов (O₂, CO₂, CH₄) [3].

Пробы термальной воды Тумнинского месторождения для анализа солевого состава и ми-

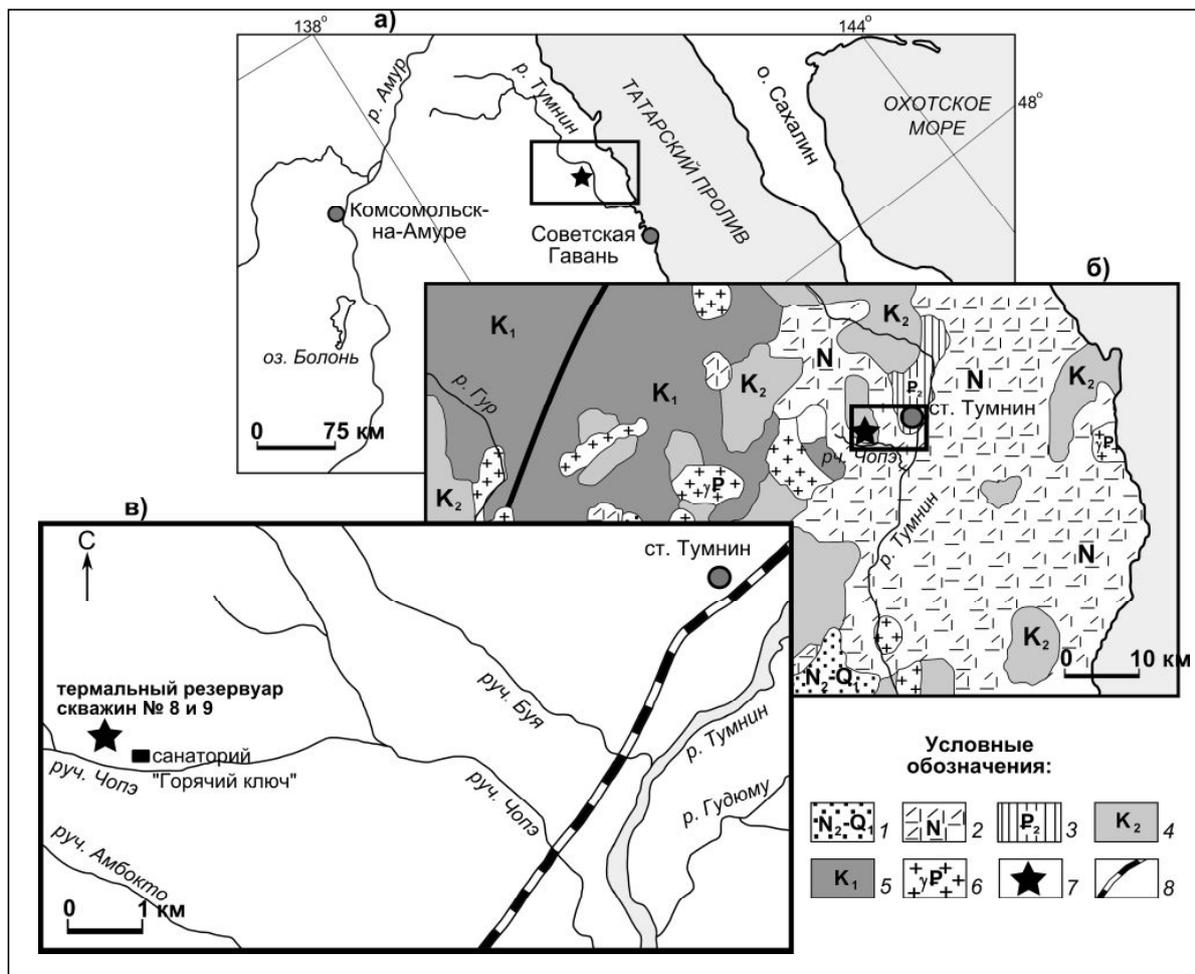


Рис. 1. Обзорная карта с местом расположения Тумнинского термального поля (а), схематическая геологическая карта района Тумнинского месторождения термальных вод, по [4] (б) и схема расположения термального резервуара и санатория «Горячий ключ» (в)
 1 – плиоцен-нижний неоплейстоцен; 2 – неогеновые отложения; 3 – палеогеновые нерасчлененные отложения; 4 – верхнемеловые отложения; 5 – нижнемеловые отложения; 6 – палеогеновые интрузии: граниты, лейкограниты, гранит-порфиры, гранодиориты, гранодиорит-порфиры, граносиенит-порфиры, щелочные граниты; 7 – Тумнинское месторождение термальных вод; 8 – железная дорога

Fig. 1. Overview map showing the Tumnin thermal field (a); Schematic geological map of the Tumnin thermal springs [4] (b); Scheme of locations of the thermal reservoir and the GoryachyKlyuch health resort (v)

1 – Pliocene-Lower Neoplestocene; 2 – Neogene deposits; 3 – Paleogene undivided sediments; 4 – Upper Cretaceous deposits; 5 – Lower Cretaceous deposits; 6 – Paleogene intrusions: granites, leucogranites, granite-porphyr, granodiorite, granodiorite-porphyr, granosyenite-porphyr, alkali granites; 7 – Tumnin thermal springs; 8 – the railway

кроэлементов были отобраны из скважины № 9 26 апреля 2017 г. в специально подготовленную тару, в соответствии с ГОСТ 23268.0-91. Анализ проводился в испытательной лаборатории ФГБУ Центр агрохимической службы «Хабаровский». Определялись водородный показатель и фтор на анализаторе жидкости «Анион 4100» в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 и ГОСТ 23268.18-78.

Метакремниевая кислота, нитраты, нитриты, бор, аммиак и аммоний на спектрофотометре «Спеккол-11» в соответствии с РД 52.24.432-05, ГОСТ 23268.9-78, 8-78, 10-78 и ГОСТ 31949-12. Микроэлементы (Al, Ba, Be, Cd, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Pb, Se, Ag, Sr, Cr, Zn) определялись на ICP Vista AX PRO в соответствии с ПНДФ 14.1:2:4.135-98. Железо и ртуть анализировались на ААС «КВАНТ-2

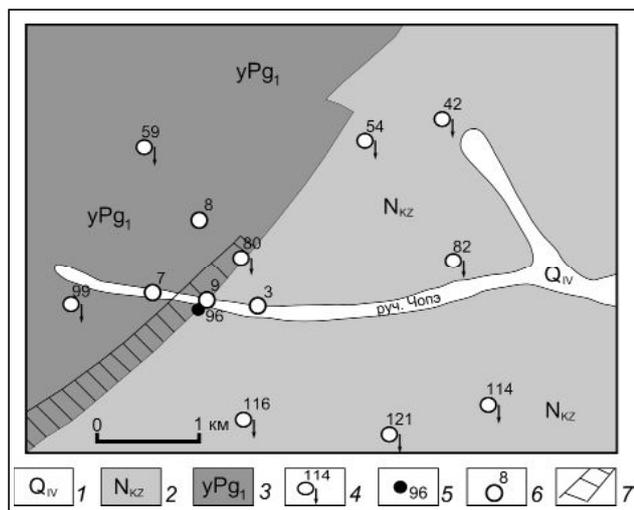


Рис. 2. Гидрогеологическая схема Тумнинского геотермального месторождения, по [6]

1 – водоносный горизонт современных аллювиальных отложений малых рек и ручьев; 2 – водоносный горизонт в миоценовых эффузивных образованиях кизинской свиты; 3 – подземные воды зоны выветривания в палеогеновых интрузивных породах; 4 – родник нисходящий, цифра сверху – номер на карте водопунктов; 5 – родник восходящий термальный, цифра снизу – номер на карте водопунктов; 6 – Скважины, цифра сверху – фактический номер; 7 – зоны трещинно-жильной водоносной системы, перспективные для поиска термальных вод

Fig. 2. Hydrogeological scheme of the Tumnin geothermal deposit [6]

1 – Aquifer of modern alluvial sediments of small rivers and streams; 2 – Aquifer in the Miocene effusive formations of the Kizin suite; 3 – Under ground waters of the weathering zone in Paleogene intrusive rocks; 4 – Downward spring (figure on the top – water inflows on the map); 5 – Thermal upward spring (figure on the bottom - water inflows on the map); 6 – Wells (figure on the top – the actual number); 7 – Fracture-vein aquifer system zones, promising to search for thermal waters

АТ» по ПНДФ 14.1:2:4.139-98 и 136-98. Общая альфа-активность измерялась на альфа-радиометре Прогресс, а общая бета-активность на бета-спектрометре Прогресс.

Ионы натрия и калия, кальций, магний, хлор, сульфаты, карбонаты и гидрокарбонаты определялись в лаборатории гидрогеологической режимно-эксплуатационной станции санатория

«Кульдур» в соответствии с нормами. Пробы были отобраны из скважины № 9 12 сентября 2011 г. Определение магния, кальция, хлора, карбонатов и гидрокарбонатов осуществлялось титриметрическим методом. Сульфаты определялись турбидиметрическим методом. Определения натрия и калия производились в сумме расчетным путем исходя из разности суммы эквивалентов анионов и катионов.

Пробы воды для определения качественного состава органических соединений средней летучести были отобраны в бутылки из темного стекла с пришлифованной пробкой емкостью 250 мл 8 июня 2010 г. из скважины № 9. В качестве сравнения также были отобраны пробы воды из скважины № 8 и руч. Чопэ. До анализа в лаборатории пробы воды хранились в холодном месте не более 2 суток. Концентрат органических соединений получали методом твердофазной экстракции. Определение органических соединений осуществлялось капиллярной газовой хроматографией в сочетании с масс-спектрометрией на Shimadzu GCMS-QP2010S. Подробнее методика анализа описана в [10, 12]. Для более надежной идентификации спектры регистрировали в режиме селективного ионного мониторинга (СИМ) по характеристическим ионам (m/z 57; 73; 91; 120; 128; 134; 142; 178; 192). Для каждого соединения была рассчитана относительная площадь в процентах. Сумма всех соединений, установленных в пробе, равнялась 100%. Твердофазная экстракция и хроматомасс-спектрометрический анализ проводились в лаборатории Хабаровского краевого центра экологического мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (КЦЭМП).

Результаты исследования и их обсуждение

Макрокомпоненты. В табл. 1 приведен макрокомпонентный состав, pH и минерализация термальной воды из скважины № 9 Тумнинского геотермального месторождения. Вода щелочная, слабоминерализованная. Среди катионов преобладает натрий. При увеличении температуры воды натрий активно выщелачивается из водовмещающих пород в системе «вода–гранит». При этом содержание кальция связано обратной зависимостью, поэтому наблюдается его низкое содержание. Это косвенно подтверждается и тем, что концентрация натрия ниже в окружающих холодных водах неглубокой циркуляции [14, 15]. Доля калия в сумме с катионом натрия является незначительной (около 1,5–2%), так как калий практически не вступает в реакции взаимодействия в системе «вода–порода». Ион магния, как правило, в ще-

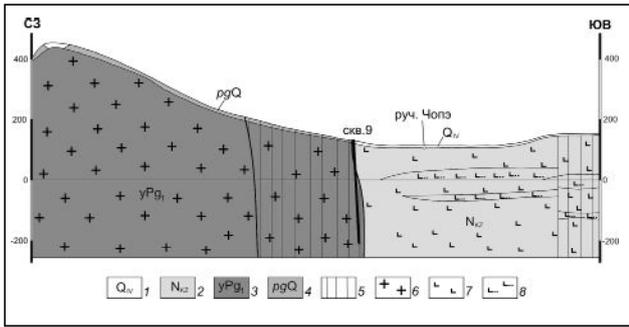


Рис. 3. Геологический разрез–схема Тумнинского геотермального месторождения, по [6]

1 – водоносный горизонт в современных аллювиальных отложениях малых рек и ручьев; 2 – водоносный горизонт в миоценовых эффузивных образованиях кизинской свиты; 3 – практически безводные палеогеновые интрузивные образования; 4 – полигенетические отложения; 5 – трещино-жильные водоносные системы в региональных тектонических зонах; 6 – гранодиориты, граниты; 7 – базальты; 8 – туфы, кластолавы базальтов

Fig. 3. Geological cross-section of the Tumnin geothermal deposit [6]

1 – Aquifer in modern alluvial sediments of small rivers and streams; 2 – Aquifer in the Miocene effusive formations of the Kizin suite; 3 – Waterless Paleogene intrusive formations; 4 – Polygenetic deposits; 5 – Fissure-vein aquifer systems in regional tectonic zones; 6 – Granodiorites, granites; 7 – basalts; 8 – Tuffs, basalt clastolava

лочных термальных водах имеет низкие значения, не исключение и Тумнинские источники, где магний содержится в количестве 0,4 мг на литр. При этом, как видно из литературных данных, магний в холодных водах достигает более высоких значений [15].

Содержание кремниевой кислоты относительно высокое (около 80 мг/дм³). Преимущественно этот макрокомпонент обуславливает бальнеологическую ценность азотных термальных вод. Известно, что содержание кремниевой кислоты в растворе более 50 мг/дм³ придает воде терапевтический эффект. Ее концентрация в целом зависит от температуры и давления, при которых формируются термальные воды, поэтому в аналогичных азотных термах с более высокой температурой ее концентрация будет выше (Анненские термы – температура 54 °С, кремнекисло-

та – 91 мг/дм³ [1]; Кульдурские термы – температура 73 °С, кремнекислота 142 мг/дм³ [10]).

В анионном составе преобладают карбонат- и гидрокарбонат-ионы. Это, в принципе, типично для азотных термальных вод, имеющих, как правило, содовый состав (среди катионов преобладает натрий, среди анионов – гидрокарбонат-ион). Содержание гидрокарбоната в азотных термах Сихотэ-Алиня в три раза выше, чем в окружающих холодных водах [15]. Хлориды и сульфаты гораздо менее распространены.

Микрокомпоненты. Среди микрокомпонентов обращает на себя внимание мышьяк, концентрация которого достигает 22 мкг/дм³ (табл. 1). ПДК мышьяка для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 0,01 мг/дм³ (10 мкг/дм³). Однако его концентрация в термальных водах зачастую выше за счет более активного взаимодействия воды с водовмещающими породами при высокой температуре. В некоторых случаях именно ему приписывают бальнеологическое действие вод. При этом для отнесения вод к мышьяковистым необходимо содержание мышьяка в воде более 0,7 мг/дм³ (более 700 мкг/дм³). В аналогичных термах Сихотэ-Алиня концентрации As колеблется от 6,5 до 19 мкг/дм³ [15].

Содержание железа, марганца и молибдена в Тумнинских термах, наряду с мышьяком, тоже достаточно высокое, хотя и не превышает предельно допустимых значений. В окружающих хо-

Таблица 1
Показатели солевого состава термальной воды скважины № 9 Тумнинского геотермального месторождения

Table 1
Parameters of salt composition in thermal water from the well № 9 in the Tumnin geothermal deposit

№ п/п	Наименования показателя	Обозначение	Содержание, мг/дм ³
1.	Водородный показатель	pH	9,5
2.	Общая минерализация	M	175,4 ± 6
3.	Аммиак и ион аммония	NH ₄ ⁺	0,1
4.	Катионы натрия и калия	Na ⁺ + K ⁺	35,2
5.	Кальций	Ca ²⁺	2,8
6.	Магний	Mg ²⁺	0,4
7.	Хлориды	Cl ⁻	1,4
8.	Сульфаты	SO ₄ ²⁻	7,2
9.	Карбонат- и гидрокарбонат-ионы	CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻	60,5
10.	Нитраты	NO ₃ ⁻	0,75 ± 0,15
11.	Нитриты	NO ₂ ⁻	<0,5
12.	Метакремниевая кислота	H ₂ SiO ₃	76,7 ± 7,7

Таблица 2
Микроэлементы в термальной воде скважины № 9
Тумнинского геотермального месторождения
Table 2
Microelements in thermal water from well № 9
in the Tumnin geothermal deposit

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение	Содержание, мкг/дм ³
1.	Алюминий	Al	20
2.	Барий	Ba	< 1
3.	Бериллий	Be	< 0,1
4.	Бор	B	12
5.	Железо	Fe	96
6.	Кадмий	Cd	0,2
7.	Литий	Li	10
8.	Марганец	Mn	9
9.	Медь	Cu	6
10.	Молибден	Mo	15
11.	Мышьяк	As	22
12.	Никель	Ni	< 1
13.	Ртуть	Hg	< 0,01
14.	Свинец	Pb	4
15.	Селен	Se	< 5
16.	Серебро	Ag	< 5
17.	Стронций	Sr	14
18.	Фтор	F	<0,2 мг/дм ³
19.	Хром	Cr	8
20.	Цинк	Zn	19

лодных водах концентрация железа ниже (около 40 мкг/дм³) [15]. Марганец имеет тесную геохимическую связь с железом, поэтому его содержание тоже повышенное. Молибден в щелочной среде обычно выше, чем в кислой, поэтому его концентрация в щелочных Тумнинских водах достигает 15 мкг/дм³. По данным О.В. Чудаева, значение железа и марганца в термальных водах Сихотэ-Алиня ниже и составляет для железа 5–13 мкг/дм³, марганца – 0,06–0,28 мкг/дм³. Содержание лития в исследуемых термальных водах достаточно высокое и практически на порядок превышает значение лития в окружающих пресных холодных водах [15]. Концентрация серебра и хрома заметно выше, чем для аналогичных термальных вод Сихотэ-Алиня. По данным Б.С. Архипова, серебро и хром в Тумнинских и Анненских термах вообще отсутствуют, а в Чомэнских источниках их содержание составляет 0,032 и 0,89 мкг/дм³ [1]. Концентрации остальных микрокомпонентов, установленных в Тумнинских термах, примерно такие же, как и для термальных вод Сихотэ-Алиня [1, 15].

Кроме этого, производилось измерение общей радиоактивности Тумнинских термальных вод. Результаты говорят о невысокой радиоактив-

ности термальной воды (табл. 3), при этом ПДК для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового значения составляет 0,2 Бк/дм³ для альфа-активности и 1 Бк/дм³ для бета-активности.

Органическое вещество. Были изучены органические соединения средней летучести. Это многочисленная группа компонентов органической природы с молекулярной массой от 50 до 500 а.е.м. Сюда входит большинство гомологических рядов органических соединений, распространенных в природе, за исключением легких углеводородных газов и «тяжелых» нелетучих или малолетучих веществ. Полный список установленных соединений, гомологические ряды и относительные содержания приведены в табл. 4.

Установлено 40 органических соединений, которые составляют 8 гомологических рядов. При этом на долю терпенов, алканов, изоалканов и эфира приходится в сумме более 90% от состава всего установленного органического вещества. Терпены, а именно сквален и его изомеры, – это компоненты биогенного происхождения, являются биохимическими предшественниками тритерпанов (изопреноидные соединения, входящие в состав липидов практически всех растений). Именно живые организмы являются основным источником сквалена в природе, в частности, в поверхностных и подземных водах, откуда эти компоненты могут поступать и в термальные воды, которые они питают. Поэтому наличие терпенов в исследуемых термах и их значительное относительное содержание (49%) связывается с биогенным генезисом. Следует отметить, что температура Тумнинской термальной воды, вероятно, ограничивает жизнедеятельность большинства живых организмов, обитающих в холодных водных экосистемах, зато позволяет жить и развиваться различным термофильным комплексам, которые являются потенциальным источником органического вещества.

Изоалканы представлены всего двумя соединениями, но занимают они в сумме до 10%. Изомерные углеводороды могут образовываться в результате микробиологической переработки орга-

Таблица 3
Общая радиоактивность термальной воды скважины № 9 Тумнинского геотермального месторождения
Table 3
Total radioactivity of thermal water from the well № 9 in the Tumnin geothermal deposit

№ п/п	Наименование показателя	Значение, Бк/дм ³
1.	Общая альфа-активность	< 0,0013
2.	Общая бета-активность	< 0,3

Соединения, идентифицируемые в экстракте термальной воды из скважины № 9 Тумнинского геотермального месторождения

Detected compounds in the thermal water extract from the well № 9 in the Tumnin geothermal deposit

№ п/п	соединения	Доля, %	№ п/п	соединения	Доля, %
1. Алканы		26,5	23.	изоалкан	6,4
1.	декан	след	3. Ароматические углеводороды		3,9
2.	ундекан	след	24.	2,6-дитретбутил-п-крезол	1,7
3.	додекан	след	25.	2.4.6-три-трет-бутил-фенол	2,2
4.	тридекан	след	26.	этилбензол	след
5.	тетрадекан	след	27.	м+п-ксилолы	след
6.	пентадекан	1,1	28.	о-ксилол	след
7.	гексадекан	4,9	29.	бензол С9	след
8.	гептадекан	1,6	30.	бензол С9	след
9.	октадекан	след	31.	бензол С9	след
10.	эйкозан	след	4. ПАУ		след
11.	генэйкозан	след	32.	нафталин	след
12.	доказан	след	33.	2- метилнафталин	след
13.	трикозан	2,6	34.	1- метилнафталин	след
14.	тетракозан	2,9	5. Эфиры		6,1
15.	пентакозан	2,1	35.	миристил-миристат	6,1
16.	гексакозан	4,6	6. Альдегиды		1,8
17.	гептакозан	3,7	36.	нонаналь	след
18.	октакозан	1,7	37.	деканаль	1,8
19.	нонакозан	1,3	7. Хиноны		3,2
20.	триаконтан	след	38.	2,6-дитретбутил-п-бензохинон	3,2
21.	гентриаконтан	след	8. Терпены		49
2. Изоалканы		9,5	39.	сквален	46,6
22.	изоалкан	3,1	40.	сквален (изомер)	2,4

Примечание: «след» – соединения, установленные только на хроматограмме СИМ

нического вещества. Они широко синтезируются бактериями. Миристил миристат также биогенно происхождения. Это эфир миристиновой кислоты, которая наряду с пальмитиновой является наиболее широко распространенной в живом мире. Остальные соединения в сумме не превышают 10%. Хиноны и альдегиды также биогенного происхождения, а ароматические углеводороды, в том числе и полициклические, могут поступать в воды в результате экстрагирования из водовмещающих пород, где ароматические структуры возможно присутствуют в составе лигнина, дубильных веществ и ароматических аминокислот [17].

Для аналогичных термальных вод Приамурья (Кульдурские и Анненские источники) состав органического вещества немного отличается [9, 10]. Здесь, наряду с алканами, характерными являются ароматические углеводороды (для Кульдурских источников) и эфиры (для Анненских термальных вод). Явно биогенные компоненты,

такие как терпены и стероиды, здесь незначительно распространены. Кроме этого, ароматические углеводороды в высокотемпературной воде Кульдурского (температура воды 73 °С) и Анненского (температура воды 54 °С) термального поля могут иметь абиогенный генезис и образовываться в результате химического ре-синтеза разложенного органического вещества. Следует отметить, что в воде из скважины № 8 Тумнинского месторождения, где температура воды выше, чем в скважине № 9, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) также возможно образовались в ходе химического ре-синтеза биогенных органических остатков (в результате процессов гидрирования биогенных смоляных кислот при высокой температуре) [11].

Предельные углеводороды или алканы также являются типичными для термальной воды Тумнинского месторождения и занимают 26,5% от состава всего установленного органического-

го вещества. Эти компоненты очень удобны для использования их в качестве биомаркеров. Они устойчивы в течение длительного геологического времени и, соответственно, сохраняют первичную геохимическую информацию. При этом используют различные критерии молекулярно-массового распределения алканов в водном объекте. Это индексы нечетности (СРІ и ОЕР) и группы характерных гомологов [16, 17, 20]. Данные по молекулярно-массовому распределению алканов в Тумнинской термальной воде приведены в табл. 5. Также в качестве сравнения приводятся данные по алканам в аналогичных Кульдурских и Анненских термальных водах и в руч. Чопэ, на левом берегу которого расположена скважина № 9 Тумнинского месторождения.

В термальной воде наблюдается примерно равное содержание низко- и высокомолекулярных гомологов, при этом максимумы приходятся на алканы C_{16} и C_{26} . Гомолог C_{16} (гексадекан) – бактериальный алкан, широко синтезируемый бактериями. Максимального распространения также достигает бактериальная группа гомологов – C_{16} , C_{20} – C_{24} до 30%. Это указывает на то, что основная часть алканов образовалась здесь в результате бактериальной деятельности. Это подтверждается и индексом нечетности ОЕР₂₃, значение которого выше единицы. Все это, наряду с особенностями состава органического вещества, говорит о том,

что органические соединения средней летучести в термальной воде из скважины № 9 Тумнинского месторождения имеют биогенное происхождение (преимущественно бактериальное).

В Кульдурских и Анненских термальных водах при подавляющем преобладании алканов с длинной цепью индексы нечетности, особенно индекс СРІ, равны единице. Это говорит о том, что углеводороды здесь образовались в результате химического ре-синтеза органических остатков растительного происхождения [13]. В руч. Чопэ картина иная. Здесь наблюдается резкое преобладание низкомолекулярных гомологов, при этом группа характерных гомологов – это алканы C_9 – C_{14} без дискриминации по четности–нечетности атомов углерода. Учитывая низкую температуру и отсутствие контакта воды с глубинными породами земной коры, образование этой группы алканов в результате термогенных процессов представляется маловероятным, как это имеет место, например, в Паратунской гидротермальной системе [13]. Широкое распространение низкомолекулярных гомологов C_9 – C_{14} до 63% связано, вероятно, с локальным загрязнением руч. Чопэ, возможно, горюче-смазочными материалами. В более высокомолекулярной области алканов индексы нечетности ОЕР₁₇ и ОЕР₂₇ выше единицы, что указывает уже на биогенное происхождение высокомолекулярных гомологов здесь.

Таблица 5

Молекулярно-массовое распределения алканов в Тумнинской термальной воде из скважины № 9, в термальных водах Приамурья [13] и руч. Чопэ

Table 5

Molecular-mass distribution of alkanes in the Tumnin thermal water from the well № 9, in thermal waters of the Amur Territory [13], and in the Chopae stream

Критерий распределения	Тумнинские термы	Кульдурские термы	Анненские термы	руч. Чопэ
C_{\max}	$C_{16}; C_{26}$	$C_{10}; C_{27}$	$C_{11}; C_{28}$	$C_{11}; C_{24}$
$\sum n-C_9-C_{14}, \%$	12,1	7	7,2	63
$\sum n-C_{15}, C_{17}, C_{19}, \%$	12,1	2,3	0,9	13,6
$\sum n-C_{16}, C_{20}-C_{24}, \%$	29,9	17,4	11,4	13,3
н/в	0,8	0,2	0,1	6,7
нч/ч	1	1	1	1
ОЕР ₁₇	0,8	1,1	–	1,5
ОЕР ₁₉	–	1	0,9	–
ОЕР ₂₃	1,7	1,1	1,1	1,2
ОЕР ₂₅	1,2	1	1	0,8
ОЕР ₂₇	0,9	1,1	0,8	3,2
ОЕР ₂₉	1	1,2	0,8	–
СРІ	1,1	1	1	1,2

Примечание: н/в – отношение низкомолекулярных алканов (до $n-C_{22}$) к высокомолекулярным гомологам (от $n-C_{23}$); нч/ч – отношение нечетных парафинов к четным во всей фракции. «–» – критерий не рассчитан из-за отсутствия гомологов в пробе

Заключение

Таким образом, в результате проведенного исследования были изучены ионно-солевой и микрокомпонентный составы, а также состав органического вещества средней летучести в термальной воде Тумнинского геотермального месторождения. Термальные воды щелочные, слабоминерализованные, относятся к типичным содовым водам – среди катионов преобладает натрий, среди анионов – гидрокарбонаты и карбонаты. Микроэлементный состав характеризуется повышенным содержанием мышьяка, железа, марганца, молибдена, серебра и хрома, которое обусловлено высокой температурой и взаимодействием в системе «вода–порода». Среди органических компонентов широко распространены терпены, алканы, изоалканы и эфир, доля которых в сумме более 90%. Особенности состава органического вещества и молекулярно-массового распределения углеводородов указывают на их биогенный, преимущественно бактериальный генезис.

Благодарность

Авторы выражают благодарность администрации ОАО «РЖД» санаторий-профилакторий «Горячий Ключ» (п. Тумнин) за поддержку проведенных исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Архипов Б.С. Химический состав и металлоносность термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28, № 4. С. 116–122.
2. Барабанов Л.Н., Дислер В.Н. Азотные термы СССР. М.: Геоминвод, 1968. 119 с.
3. Брагин И.В., Челноков Г.А. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня. Газовый аспект // Вестник ДВО РАН. 2009. № 4. С. 147–151.
4. Геологическая карта Хабаровского края и Амурской области. Масштаб 1:5 000 000 / гл. ред. Л.И. Красный. Л., 1986.
5. Завгорудько В.Н., Завгорудько Г.В., Завгорудько Т.И. Тумнинский минеральный источник. 3-е изд., перераб. и доп. Хабаровск: Изд-во ДВГМУ, 1999. 138 с.
6. Кулаков В.В., Сидоренко С.В. Минеральные воды и лечебные грязи Приамурья. Хабаровск: Изд-во ДВГМУ, 2017. 474 с.
7. Потурай В.А. Алифатические и ароматические углеводороды в термальных и поверхностных водах района Тумнинского месторождения термальных вод, Дальний Восток России // Современные проблемы регионального развития: материалы V международной научно-практической конференции. Биробиджан, 2014. С. 81–82.
8. Потурай В.А. Вариации состава органического вещества в Кульдурских термальных водах // Территориальные исследования: цели, результаты и перспективы: тезисы VIII Всероссийской школы-семинара молодых ученых, аспирантов и студентов. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН – ФГБОУ ВПО «ПГУ им. Шолом-Алейхема», 2015. С. 25–28.
9. Потурай В.А. Органическое вещество в подземных и поверхностных водах района Анненского геотермального месторождения (Дальний Восток) // Геохимия. 2017. № 4. С. 372–380.
10. Потурай В.А. Органическое вещество в подземных и поверхностных водах района Кульдурского месторождения термальных вод, Дальний Восток России // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1, вып. № 21. С. 169–182.
11. Потурай В.А. Органическое вещество в термальных и поверхностных водах района Тумнинского месторождения термальных вод, Дальний Восток России // Известия ТПУ. 2014. Т. 324, № 3. С. 44–52.
12. Потурай В.А. Органическое вещество в холодных подземных водах районов азотных терм Приамурья // Региональные проблемы. 2016. Т. 19, № 4. С. 59–66.
13. Потурай В.А. Состав и распределение n-алканов в азотных термах Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36, № 4. С. 109–119.
14. Потурай В. А. Сравнение химического состава термальных, сточных и грунтовых вод Кульдурского района // Региональные проблемы. 2010. Т. 13, № 2. С. 92–95.
15. Чудаев О.В., Чудаева В.А., Брагин И.В. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27, № 6. С. 73–81.
16. Bray E.E., Evans E.D. Distribution of n-paraffines as a clue to recognition of source beds // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1961. Vol. 22, N 1. P. 2–15.
17. Hunt J.M. *Petroleum geochemistry and geology*. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979. 617 p.
18. Kompanichenko V.N., Poturay V.A., Rapoport V.L. Organic Matter in Hydrothermal Systems on the Russian Far East in the Context of Prebiotic Chemistry // *Origins of Life and Evolution of Biospheres*. 2010. Vol. 40. P. 516–517.

19. Kompanichenko V.N., Poturay V.A., Shlufman K.V. Hydrothermal systems of Kamchatka as the model for prebiotic environment // *Origins of Life and Evolution of Biospheres*. 2015. Vol. 45, N 1–2. P. 93–103.
20. Konn C., Charlou J.L. New insight into the contributions of thermogenic processes and biogenic sources to the generation of organic compounds in hydrothermal fluids // *Geobiology*. 2011. Vol. 9, N 1. P. 79–93.

COMPLEX BIOGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE TUMNIN SPRINGS THERMAL WATER

V.A. Poturay, S.S. Strochinskaja, V.N. Kompanichenko

The results of complex biogeochemical exploration of the Tumnin geothermal deposit thermal water are given in the paper. The thermal water is slightly mineralized, alkaline, hydrocarbonate-sodium. The microelement composition is characterized by a prevalent content of arsenic, iron, manganese, molybdenum, silver, and chromium. Terpenes, alkanes, isoalkanes, etc. predominate among organic compounds. The distribution of hydrocarbons molecular mass indicates a biogenic, mainly bacterial, genesis of organic matter.

Keywords: ionic composition, microelement, organic matter, alkane, genesis.