УДК 579.266(550.72)

Е.Г. КАЛИТИНА, Н.А. ХАРИТОНОВА,
Г.А. ЧЕЛНОКОВ, Е.А. ВАХ

Микробиологический состав углекислых минеральных вод Приморского края (распространение, численность бактерий, условия их обитания)

Представлены результаты исследования микробиологического состава холодных углекислых минеральных вод Приморского края. Показано, что подземные воды населены разнообразной микрофлорой, которая способна преобразовывать физико-химический состав минеральных вод, участвуя в геохимических циклах. Дана оценка качества вод по санитарно-микробиологическим показателям.

Ключевые слова: микроорганизмы, численность, углекислые воды, физиологические группы, колиформные бактерии, железобактерии.

Microbiological composition of carbon dioxide mineral waters of the Primorye region (distribution, number of bacteria and the conditions of their habitat). E.G. KALITINA, N.A. KHARITONOVA, G.A. CHELNOKOV (Far Eastern Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok), E.A. VACH (Far Eastern Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Far Eastern Federal University, Vladivostok).

The results of studies of microbiological composition of cold carbonic mineral waters of Primorye region are presented. It is shown, that underground waters are inhabited by various microflora, which is able to convert physical and chemical composition of the mineral waters, participating in geochemical cycles. The assessment of quality of waters in accordance with sanitary-microbiological indicators was given.

Key words: microorganisms, abundance, carbonated waters, physiological groups, coliform bacteria, iron bacteria.

На территории Приморского края, которая характеризуется сложным геологическим строением, сконцентрированы значительные ресурсы минеральных подземных вод. По химическому и газовому составу и с учетом температуры минеральные воды края подразделяются на следующие группы: по температуре – термальные и холодные, а по газовому составу – углекислые, азотные и азотно-метановые [2, 5–8]. В последние десятилетия химический состав минеральных вод Дальнего Востока и их генезис были изучены достаточно детально [15–17 и др.], однако механизмы формирования многих геохимических типов вод все еще остаются не раскрытыми. Работы последних лет показывают,

*КАЛИТИНА Елена Геннадьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ХАРИТОНОВА Наталья Александровна – доктор геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией, ЧЕЛНОКОВ Георгий Алексеевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток), ВАХ Елена Александровна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, доцент (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). *E-mail: microbiol@mail.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ (грант № 14-05-00171) и ДВО РАН (проект № 15-I-2-097).

что микробиологические процессы активно изменяют гидрогеохимическую систему и частично преобразовывают физико-химические свойства подземных вод и пористое пространство водовмещающих пород [11, 12, 23].

Микроорганизмы – огромная группа жизненных форм, из них в подземных водах наибольшее значение имеют бактерии. Бактерии могут находиться в подземных водах во взвешенном состоянии, их размеры составляют 0,2–1 мкм. В некоторых физико-химических условиях бактерии формируют большие агломераты и становятся частью пористой среды. Часто они прикрепляются к поверхности водовмещающей породы и таким образом остаются на месте и не двигаются вместе с водной средой. Основные преобразования химического состава водовмещающих пород производятся именно прикрепленными бактериями [11]. Наиболее важными биохимическими процессами, протекающими в подземных водах с участием микроорганизмов, являются биогенная генерация CO_2, сульфофикация, сульфатредукция, нитрификация и денитрификация. Минеральные воды нередко содержат контаминантную патогенную и условно-патогенную микрофлору, которая может сохраняться в этих водах длительное время и представлять значительную опасность для здоровья человека [21]. Поскольку минеральные воды активно используются в бальнеологических целях, необходимо не только исследовать химический состав минеральных вод, но также проводить микробиологический мониторинг вод с целью выявления естественной и болезнетворной микрофлоры. Изучение микрофлоры необходимо для прогноза возможных биохимических процессов в системе вода–порода, а также для санитарно-микробиологической оценки качества подземных питьевых вод.

В данной статье представлены первые результаты исследований микробиологического состава холодных углекислых минеральных вод Приморского края. Поскольку в литературе сведений о количественном и качественном составе микроорганизмов в этих водах нет, целью работы являлось изучить распространение, структуру, численность различных физиологических групп бактерий, а также оценить уровень микробиологического загрязнения и условия обитания микроорганизмов в месторождениях подземных минеральных вод Приморского края.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны углекислые минеральные воды четырех основных месторождений минеральных вод Приморья, а именно Ласточка, Шмаковское (участки Медвежий и Восточно-Уссурский), Нижние Лужки и Покровское (рис. 1). Месторождения локализуются в различных гидрогеологических обстановках и различаются типами водовмещающих пород, геохимическим типом (табл. 1) и химическим составом вод (табл. 2).

Гидрохимическое опробование проводили по стандартной методике. Нестабильные параметры вод измеряли на месте обора, пробы фильтровали через мембранные фильтры 0,45 мкм. Водные пробы проанализировали на макро- и микроэлементы в сертифицированной лаборатории ДВГИ ДВО РАН. Основные катионы и анионы определяли методом жидкостной ионной хроматографии (HPLC-10AVp, Shimadzu), микроэлементы – методом индуктивно-связанной плазмы (ICP-MS Agilent 4500 и 7500c) (аналитики Г.А. Бахарева, Т.Ю. Романова).

Микробиологический анализ проводился в лаборатории гидрогеохимии и океанического литогенеза ДВГИ ДВО РАН. Пробы воды из скважин отобраны в июле 2014 г. в стерильные стеклянные флаконы объемом 1200 мл, в трех повторностях. Численность бактерий различных физиологических групп определяли методом предельных разведений и методом Коха. Наиболее вероятное количество автохтонных эколого-трофических групп микроорганизмов оценивали методом предельных разведений с использованием элективных сред [10]. Для определения наиболее вероятного числа клеток бактерий

Рис. 1. Местоположение исследованных месторождений углекислых минеральных вод: 1 – Ласточка, 2 – Шмаковское, 3 – Покровское, 4 – Нижние Лужки

использовали таблицу Мак-Креди. Численность колониеобразующих форм аллохтонных микроорганизмов учитывали методом высева по Коху [13]. Сапрофитные бактерии (КМАФАнМ – количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов) определяли методом посева на мясо-пептонный агар, со сроком инкубации 48–72 ч, при температуре 30 °С. Определение общих колиформных (ОКБ) и термотолерантных колиформных (ТКБ) бактерий проводили согласно МР № 96/225-1997 методом мембранной фильтрации [9], который заключается в концентрировании бактерий из определенного объема анализируемой воды на мембранном фильтре с последующим подсчетом выросших колоний.

К общим колиформным бактериям относили не обладающие ферментом цитохромоксидазой грамотрицательные палочки, которые способны сбраживать до кислоты и газа не только глюкозу, но и лактозу при температуре 37 °С за 48 ч. На среде Эндо такие бактерии образуют темные малиновые, бордовые или красные колонии с отпечатком и металлическим блеском или без него. К термотолерантным колиформным бактериям относили грамотрицательные палочки, способные сбраживать лактозу до кислоты и газа не только при температуре 37 °С за 48 ч, но и при 44 °С за 24 ч. *Pseudomonas aeruginosa* определяли на плотной селективно-дифференциальной среде Эндо с предварительным накоплением их в жидкой лактозо-пептонной среде [9, 14]. К *P. aeruginosa* относили грамотрицательные палочки, строгие аэробы, обладающие цитохромоксидазой, способные расти при температуре 42 °С, редуцирующие нитраты в нитриты и образующие водорастворимый пигмент пиоцианин (чаще сине-зеленого цвета). Идентификацию микроорганизмов проводили с помощью наборов биохимических тестов (BioMerieux, Франция), а также диагностических ключей определителя Берджи.

Результаты и обсуждения

В углекислых водах исследовали распространение гетеротрофных микроорганизмов, являющихся индикаторами присутствия органических веществ (ОВ) в подземных

водах, в частности копиотрофных (предпочитающих для роста высокие концентрации ОВ) и олиготрофных (способных к росту только при низких концентрациях ОВ) бактерий. Результаты показали, что численность гетеротрофных микроорганизмов, осуществляющих процессы разложения и минерализации ОВ в углекислых водах Приморья, в целом невысока, варьирует для копиотрофов от 0 (Шмаковское, источник Медвежий) до $0{,}9 \times 10^2$ (Шмаковское, источник Восточно-Уссурский), а для олиготрофов от 0 (Покровское, Нижние Лужки) до $0{,}7 \times 10^2$ кл/мл (Ласточка). Это свидетельствует о низком содержании органических веществ в минеральных водах (табл. 1). Однако в источниках Восточно-Уссурский и Покровское отмечено более значительное, чем в других, превышение численности копиотрофных бактерий над численностью олиготрофных, что указывает на большую обогащенность этих вод органическим веществом, возможно вследствие влияния грунтовых вод на воды более глубоких горизонтов (табл. 3). Для каждого минерального источника характерно доминирование определенных физиологических групп микроорганизмов, что может быть связано с химическим составом подземных минеральных вод, а также с составом водовмещающих пород (табл. 1).

Таблица 1

Краткая литолого-геологическая характеристика изученных месторождений Приморья

Характеристика	Ласточка	Шмаковское		Покровское	Нижние Лужки
		Медвежий	Восточно-Уссурский		
Геотектоническая локализация	Зона сочленения Сихотэ-Алиня и борта наложенной кайнозойской Бикинской депрессионной структуры	Зона сочленения структур Сихотэ-Алиня и восточной окраины Ханкайского массива		Центральная часть Сихотэ-Алиня	
Водовмещающие породы и их возраст	Кварц-полевошпатовые песчаники различной зернистости (J_2)	Граниты (PZ_2)	Галечники, пески (Q)	Песчаники, глинистые и углистые сланцы (μK_2)	Кислые туфы (K_2)
Литология и возраст окружающих пород	Вулканогенно-осадочные отложении (K_2)	Метаморфические породы (PZ_1), вулканогенно-осадочные (PZ_2) и осадочные отложения (PZ_2)		Кайнозойские эффузивы (K_2ds)	Вулканические породы (K_2)
Геохимический тип воды	HCO_3–Na	HCO_3–Mg–Ca	HCO_3–Mg–Ca	Na–Ca–HCO_3	HCO_3–Mg–Ca
Минерализация, г/л	3,0–5,0	0,5–1,0	1,3	1,0–2,0	1,1–1,6
Дебит, л/с	2,45	0,3–5,8	1,3	1,0	0,15
$C_{орг}$, мг/л	1,0	4,0	3,0	3,9	0,8
Растворенный кислород, ppm	10,2	7,85	9,15	6,35	5,7

В углекислых водах месторождения Ласточка численность физиологических групп микроорганизмов в среднем невысока, варьирует от 0 (денитрификаторы) до $2{,}5 \times 10^3$ кл/мл (тионовые бактерии), при этом в микробоценозе значительно преобладают хемолитотрофные тионовые бактерии *Thiobacillus denitrificans*, которые в анаэробных условиях способны окислять восстановленные соединения серы до элементной серы с дальнейшим образованием серной кислоты. Ранее зарубежными авторами была показана способность

бактерий *Th. denitrificans* анаэробно окислять наночастицы пирита с использованием нитратов в качестве акцепторов электронов [19]. В углекислых водах Ласточки тионовые бактерии в результате своей жизнедеятельности, вероятно, способствуют образованию сульфатов согласно реакции:

$$5Na_2S_2O_3 + 4O_2 + H_2O \rightarrow 5\ Na_2SO_4 + H_2SO_4 + 4S.$$

Высокое количество тионовых бактерий, отмеченное только в данном месторождении, возможно, связано с активной переработкой сульфидных минералов, в частности пирита, который присутствует в достаточном количестве в водовмещающих породах месторождения [20]. Численность остальных эколого-трофических групп в источнике Ласточка низкая – в диапазоне значений от $0{,}1 \times 10^2$ до $0{,}4 \times 10^2$ кл/мл (табл. 3). Относительно низкую среднюю численность бактерий (2×10^2 кл/мл) в этих минеральных водах можно объяснить геохимическим типом воды (HCO_3–Na), а также высокими концентрациями таких ионов, как фтор (0,80 мг/л), калий (29,1), натрий (264), литий (1,18) и сурьма (5,332 мг/л), которые способны оказывать ингибирующее воздействие на микроорганизмы (табл. 2).

Особенностью углекислых минеральных вод источника Медвежий (Шмаковское) является низкая общая численность всех физиологических групп микроорганизмов – в среднем $0{,}6 \times 10^2$ кл/мл. Количество бактерий здесь изменяется от 0 до $0{,}7 \times 10^3$ кл/мл, при этом наиболее распространены хемоорганотрофные гетеротрофные нитрификаторы, осуществляющие процессы окисления соединений азота до нитритов и нитратов и побочных продуктов (табл. 3).

Таблица 2

Химический состав углекислых минеральных вод месторождений Приморья

Химический элемент, ион	Ласточка	Шмаковское		Покровское	Нижние Лужки
		Медвежий	Восточно-Уссурский		
мг/л					
F^-	0,80	0,61	0,64	0,20	0,35
Cl^-	1,71	1,09	1,18	0,68	1,32
NO_3^-	4,32	0,14	1,72	10,2	16,33
SO_4^-	2,50	3,09	2,40	0,78	0,64
Li^+	1,18	0,09	0,12	0,23	0,60
Na^+	264	21,9	32,7	53,1	67,2
NH_4^+	0	0,28	0,26	0,52	1,10
K^+	29,1	3,40	2,52	3,80	2,96
Ca^{2+}	74,7	139	127	70,9	110
Mg^{2+}	60,8	54,6	48,6	6,13	10,3
мкг/л					
Be	1,52	2,79	6,83	6,37	10,3
Al	6,0	157	100	93	19,3
Cr	1,12	0,495	0,154	1,16	7,16
Fe	7544	25030	2232	1073	2137
Mn	214	427	732	539	1640
Cu	1,45	3,6	6,18	0,271	1,55
Sr	5332	487	620	1249	3408

Трансформация микроорганизмами положительно заряженного аммонийного иона в первой фазе нитрификации, видимо, способствует снижению pH подземных вод, что приводит к более активному выщелачиванию породообразующих минералов водовмещающих пород, в частности алюмосиликатов. Также в источнике Медвежий в небольшом количестве отмечены автотрофные железоокисляющие ($0{,}2 \times 10^2$ кл/мл), тионовые

($0,4 \times 10^2$), сульфатредуцирующие ($0,2 \times 10^2$) микроорганизмы и бесцветные серобактерии ($0,4 \times 10^2$ кл/мл), которые способны окислять железо, восстанавливать сульфаты до сероводорода и осуществлять его дальнейшее окисление до элементной серы (табл. 3).

Углекислые воды Восточно-Уссурского участка (Шмаковское) характеризуют высокая численность бесцветных серобактерий ($4,5 \times 10^3$ кл/мл), гетеротрофных нитрификаторов ($1,3 \times 10^3$) и небольшое количество марганецокисляющих микроорганизмов ($1,4 \times 10^2$ кл/мл) (табл. 3). Высокое количество бесцветных серобактерий в углекислых водах этого участка можно объяснить наличием благоприятных условий для размножения микроорганизмов (наличие органических веществ, кислорода, сульфидов металлов, сероводорода), а также особенностями гидрогеологического режима подземных вод. Бесцветные серобактерии способны окислять восстановленные соединения серы, в том числе сульфидные минералы, в результате чего минеральные воды могут обогащаться халькофильными элементами (Cu, Pb, Zn, Mo, Cd и др.). Так, высокие концентрации меди (6,18 мкг/л) в водах данного источника могли образоваться частично в результате окисления сульфидов металлов микроорганизмами (табл. 2). Бесцветные серобактерии, обнаруженные в источнике, морфологически сходны с представителями рода *Thiothrix*. Высокая численность гетеротрофных нитрификаторов в источнике свидетельствует о процессах окисления аммиака и азотсодержащих органических соединений. На питательной среде с сульфатом марганца обнаружены гетеротрофные марганецокисляющие бактерии, которые окисляли марганец с осаждением его окислов на поверхности клеток согласно двухэтапной реакции:

$$(1)\ 2Mn^{2+}+H_2O_2+2H^+ \rightarrow 2\{Mn^{3+}\}+2H_2O,$$

$$(2)\ 2\{Mn^{3+}\}+O_2+4H_2O \rightarrow 2MnO_2+H_2O_2+6H^+.$$

Описанные выше процессы протекают на поверхности клеточной стенки бактерий, где концентрируются все компоненты реакции: восстановленные формы марганца, перекись водорода, каталаза. Окисление марганца выполняет важную биологическую функцию – детоксикацию H_2O_2, которая накапливается при окислении органического

Таблица 3

Средняя численность различных эколого-трофических групп микроорганизмов в углекислых минеральных водах месторождений Приморья, кл/мл

Эколого-трофическая группа	Ласточка	Шмаковское		Покровское	Нижние Лужки
		Медвежий	Восточно-Уссурский		
Копиотрофы	$0,5 \times 10^2$	0	$0,9 \times 10^2$	$0,8 \times 10^2$	$0,3 \times 10^2$
Олиготрофы	$0,7 \times 10^2$	$0,4 \times 10^1$	$0,3 \times 10^1$	0	0
Аммонийокисляющие бактерии	$0,2 \times 10^2$	0	0	0	0
Нитритокисляющие бактерии	$0,4 \times 10^2$	0	0	0	0
Денитрификаторы	0	0	$0,2 \times 10^2$	0	0
Азотфиксаторы	$0,1 \times 10^2$	0	$0,2 \times 10^2$	0	$0,5 \times 10^2$
Гетеротрофные нитрификаторы	$0,2 \times 10^2$	$0,7 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	$0,8 \times 10^2$	$2,7 \times 10^2$
Аммонификаторы	0	0	0	0	0
Тионовые бактерии	$2,5 \times 10^3$	$0,4 \times 10^2$	0	0	0
Сульфатредуцирующие бактерии	$0,2 \times 10^2$	$0,2 \times 10^2$	0	0	$2,5 \times 10^2$
Бесцветные серобактерии	$0,4 \times 10^2$	$0,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^3$	0	0
Автотрофные железоокисляющие бактерии	$0,4 \times 10^2$	$0,2 \times 10^2$	0	$4,5 \times 10^4$	$4,5 \times 10^3$
Гетеротрофные железоокисляющие бактерии	0	0	0	0	0
Гетеротрофные марганецокисляющие бактерии	0	0	$1,4 \times 10^2$	0	0

вещества в дыхательном процессе. Известно, что основными факторами, влияющими на распространение марганецокисляющих бактерий в воде, являются присутствие кислорода, наличие органических веществ и восстановленных форм марганца, а также нейтральная или щелочная реакция среды [6, 18]. Развитие марганецокисляющих бактерий только в водах Восточно-Уссурского источника, вероятно, определяется тем, что его подземные воды более насыщены кислородом (9,15 мг/л), содержат более высокие концентрации марганца (732 мкг/л) в сочетании с присутствием среднего количества органического углерода (3,0 мг/л), что в целом создает благоприятные условия для размножения бактерий (табл. 2). Выделенные марганецокисляющие микроорганизмы были морфологически сходны с бактериями *Metallogenium*.

В месторождении Покровское численность разных физиологических групп микроорганизмов изменяется от 0 до $4{,}5 \times 10^4$ кл/мл; значительную долю в сообществе занимают хемоавтотрофные железоокисляющие бактерии, которые окисляют двухвалентное железо до трехвалентного, при этом их рост сопровождается образованием на агаризованной среде ржавых, часто с золотистым блеском, колоний. Высокое содержание железоокисляющих микроорганизмов и низкие концентрации железа в источнике Покровское могут свидетельствовать о процессах окисления Fe^{2+} до Fe^{3+}:

$$4Fe^{2+} + O_2 + 4H^+ = 4Fe^{3+} + 2H_2O.$$

Микроорганизмы в процессе жизнедеятельности способны образовывать минералы. В процессе опыта в пробирки с 9 мл жидкой среды 9К, содержащей $FeSO_4$ в качестве источника энергии, добавляли 1 мл углекислых минеральных вод Покровского месторождения. По истечении 1 мес. инкубации при 25 °С были обнаружены железоокисляющие микроорганизмы, которые образовывали в жидкой среде большие количества разнообразных минералов (рис. 2), наиболее распространенным из которых, по данным рентгенофазового

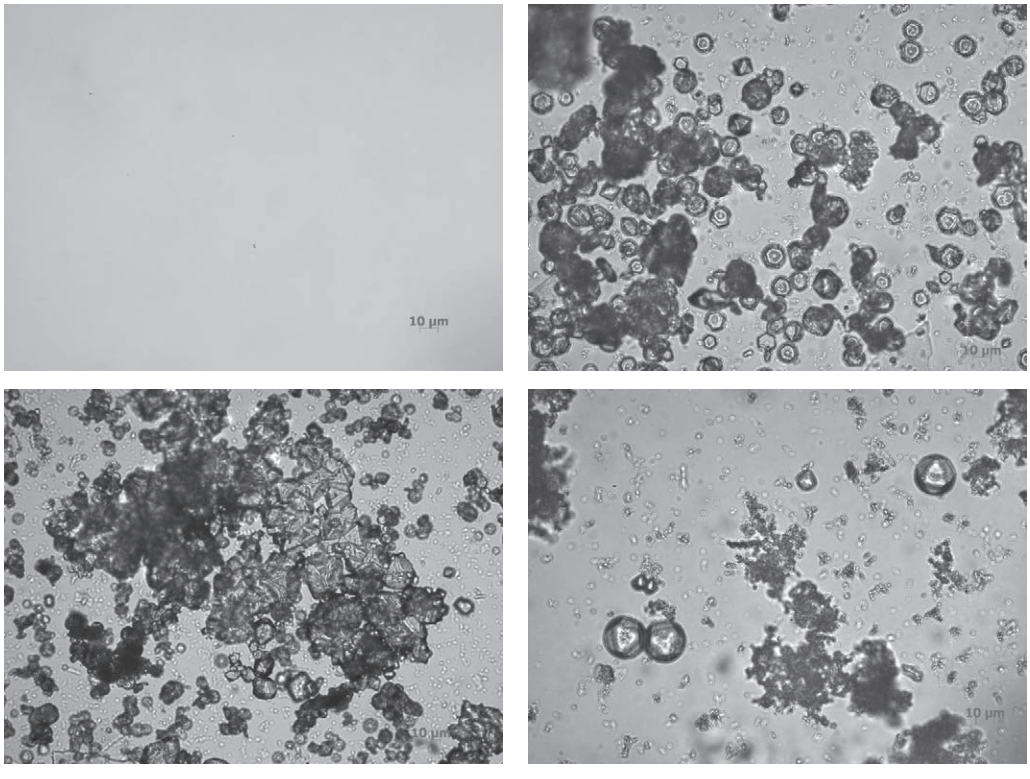

Рис. 2. Образование минералов железоокисляющими микроорганизмами, выделенными из углекислых минеральных вод Покровского месторождения. Вверху слева – контроль. Световая микроскопия

анализа, был ярозит (рис. 3). В контрольных пробирках, без добавления углекислых вод и с добавлением стерильных углекислых вод, образования минералов не происходило (см. рис. 2). Выделенные железоокисляющие микроорганизмы были идентифицированы как *Thiobacillus ferooxidans*, *Leptospirillum* sp., *Siderococcus* sp.

В подземных водах Покровского месторождения также обнаружены в небольшом количестве гетеротрофные нитрификаторы, что свидетельствует о происходящих в подземных водах процессах окисления аммония и азота органических соединений до нитритов и нитратов.

В источнике Нижние Лужки численно преобладают автотрофные железоокисляющие бактерии ($4{,}5 \times 10^3$ кл/мл), сульфатредуцирующие микроорганизмы ($2{,}5 \times 10^3$) и гетеротрофные нитрификаторы ($2{,}7 \times 10^2$ кл/мл) (табл. 3). Автотрофные железоокисляющие бактерии сходны с *Siderocapsa* sp. Их клетки окружены капсулой, пропитанной железом. Капсулы, соединяясь, образуют большие конгломераты, в массе имеющие ржаво-бурый цвет.

Анаэробные сульфатредуцирующие бактерии, осуществляющие восстановление сульфатов до сероводорода, в таком высоком количестве отмечены только в углекислых водах Нижние Лужки, что связано с благоприятными условиями для размножения анаэробных бактерий (более низкая концентрация растворенного кислорода – 5,7 мг/л, наличие органических веществ и сульфатов – 0,8 и 0,64 мг/л соответственно), а также с особенностями гидрогеологического режима подземных вод (табл. 1, 2). Несколькими исследователями показана способность сульфатредуцирующих бактерий к синтезу углеводородов [3, 22]. Установлено, что синтез углеводородов происходит в условиях гетеротрофного, литогетеротрофного и автотрофного роста сульфатредуцирующих бактерий. Однако наибольшее количество углеводородов образуется в условиях роста клеток в атмосфере $H_2 + CO_2$ с минимальным количеством сульфатов в питательной среде [3, 22]. Так как в подземных водах месторождения Нижние Лужки высокая насыщенность углекислотой, низкое количество сульфатов и присутствует сероводород, то возможно, что сульфатредуцирующие бактерии участвуют в образовании углеводородов. Наличие в подземных водах этого источника большого количества аммонийного азота (1,0 мг/л) стимулирует развитие гетеротрофных нитрификаторов, однако в связи с низким количеством органического углерода (0,8 мг/л) численность бактерий не достигает высоких значений ($2{,}7 \times 10^2$ кл/мл) (табл. 2, 3).

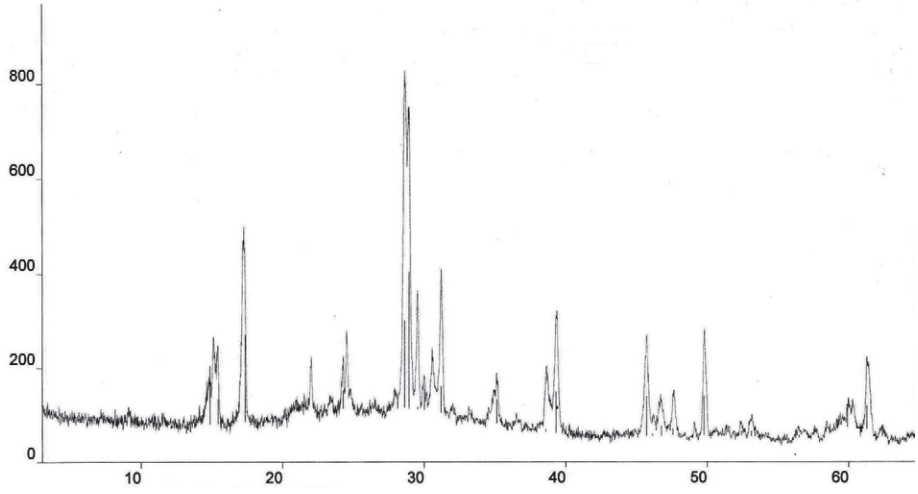

Рис. 3. Качественный рентгенофазовый анализ содержания минералов в опытных пробирках (жидкая среда 9К с добавлением углекислых минеральных вод месторождения Покровское, с выдерживанием в течение месяца при 25 °С)

Санитарно-микробиологический анализ качества подземных минеральных вод четырех месторождений Приморского края показал, что общее содержание мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в углекислых минеральных водах невысоко и варьирует от 0 КОЕ/мл (источник Медвежий, Шмаковское) до $0{,}9 \times 10^2$ КОЕ/мл (источник Восточно-Уссурский, Шмаковское), при этом численность бактерий не превышает нормативных значений (табл. 4).

Таблица 4

Численность санитарно-показательной микрофлоры в подземных углекислых минеральных водах месторождений Приморья

Показатель	Ласточка	Шмаковское		Покровское	Нижние Лужки	Норма*
		Медвежий	Восточно-Уссурский			
КМАФАнМ, КОЕ/мл	$0{,}5 \times 10^2 \pm 1{,}62$	0	$0{,}9 \times 10^2 \pm 2{,}59$	$0{,}8 \times 10^2 \pm 0{,}63$	$0{,}3 \times 10^2 \pm 1{,}45$	$\leq 1 \times 10^2$
ОКБ, КОЕ/100 мл	$0{,}2 \times 10^2 \pm 0{,}63$	0	$0{,}3 \times 10^2 \pm 1{,}51$	$1{,}5 \times 10^2 \pm 4{,}2$	$2{,}1 \times 10^2 \pm 5{,}7$	Отсутствие
ТКБ, КОЕ/100 мл	0	0	0	0	0	Отсутствие
Pseudomonas aeruginosa, КОЕ/1000 мл	0	0	0	0	0	Отсутствие

*Нормирование согласно [1, 9].

Санитарно-показательными микроорганизмами являются общие и термотолерантные колиформные бактерии. Количество ОКБ, обнаруженных в минеральных углекислых водах Приморья, варьировало от $0{,}2 \times 10^2 \pm 0{,}63$ (Ласточка) до $2{,}1 \times 10^2 \pm 5{,}7$ КОЕ/100 мл (Нижние Лужки) и превышало предельно допустимые значения в 20–210 раз (табл. 4), что свидетельствует об антропогенном загрязнении вод этих источников [4]. В источнике Медвежий ОКБ отмечено не было, что позволяет говорить о чистоте его подземных вод. ТКБ, являющиеся показателями свежего фекального загрязнения, в исследованных пробах не обнаружены (табл. 4). Не обнаружены также и *Pseudomonas aeruginosa* (табл. 4), присутствие которых в объектах окружающей среды сигнализирует одновременно об эпидемическом (как патоген) и санитарном (как индикатор биологического загрязнения) неблагополучии [4].

Выводы

Проведенные исследования микробиологического состава четырех месторождений углекислых минеральных вод Приморья выявили присутствие в них различных физиологических групп микроорганизмов, которые способны преобразовывать физико-химический состав минеральных вод, участвуя в геохимических циклах. При этом в каждом источнике минеральных вод наблюдалось доминирование определенных эколого-трофических групп микроорганизмов, что связано с химическим составом минеральных вод, составом водовмещающих пород, а также с особенностями гидрогеологического режима подземных вод. В углекислых водах источников Ласточка, Медвежий, Восточно-Уссурский (Шмаковское) по численности преобладали микроорганизмы цикла серы и азота, в источниках Покровское и Нижние Лужки наиболее распространены хемолитотрофные железоокисляющие бактерии. При окислении солей железоокисляющие бактерии способны накапливать нерастворимый осадок гидрата окиси железа, чем можно в какой-то мере объяснить выпадение осадка ржавого цвета в бутылках с разлитой минеральной водой. В подземных водах источников Ласточка, Восточно-Уссурийский (Шмаковское), Покровское, Нижние Лужки обнаружены общие колиформные бактерии, что свидетельствует об

антропогенном загрязнении минеральных вод. Термотолерантные колиформные бактерии, а также патогенные бактерии *Pseudomonas aeruginosa* в подземных водах обнаружены не были.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия: ГОСТ Р 54316-2011. М.: Стандартинформ, 2011.
2. Гидрогеология Азии / под ред. Н.А. Маринова. М.: Недра, 1974. 576 с.
3. Гируц М.В., Гордадзе Г.Н., Строева А.Р., Кошелев В.Н. К вопросу образования углеводородов нефти из биомассы бактерий // Тр. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2014. № 2. С. 82–93.
4. Дармаева Б.В., Бархутова Д.Д. Оценка качества минеральной воды и донных осадков гидротермы Горячинск по микробиологическим показателям // Вестн. БГУ. Серия 2, Биология. 2006. Вып. 8. С. 47–51.
5. Зайцев И.К., Толстихин Н.И. Закономерности распространения и формирования минеральных (промышленных и лечебных) подземных вод на территории СССР. М.: Недра, 1972. 279 с.
6. Захарова Ю.Р., Парфенова В.В., Гранина Л.З., Кравченко О.С., Земская Т.И. Распределение культивируемых железо- и марганецокисляющих бактерий в донных осадках оз. Байкал // Биология внутр. вод. 2010. № 4. С. 22–30.
7. Иванов В.В., Невраев Г.А. Классификация минеральных вод. М.: Недра, 1964. 167 с.
8. Иванов В.В. Основные закономерности распространения и формирования термальных вод Дальнего Востока СССР // Вопр. формирования и распространения минеральных вод СССР. М.: Мин-во здравоохранения СССР, 1960. С. 171–262.
9. Контроль качества и безопасности минеральных вод по химическим и микробиологическим показателям: метод. рекомендации № 96/225. М.: Минздрав России, 1997. 18 с.
10. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 285 с.
11. Лехов А.В. Физико-химическая гидрогеодинамика. М.: КДУ, 2010. 500 с.
12. Лущаева И.В. Экология сульфатредуцирующих бактерий и их геохимическая деятельность в подземных водах палеогеновых отложений Обь-Томского междуречья: автореф. дис. … канд. биол. наук. Томск, 2007.
13. Микробиология, вирусология и иммунология: руководство к лабораторным занятиям: учеб. пособие / под ред. В.Б. Сбойчакова, М.М. Карапуа. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 320 с.
14. Обнаружение и идентификация *Pseudomonas aeruginosa* в объектах окружающей среды (пищевых продуктах, воде, сточных жидкостях): метод. рекомендации. М.: Изд-во стандартов, 1984. 22 с.
15. Харитонова Н.А. Углекислые минеральные воды северо-востока Азии: автореф. дис. … д-ра геол.-минер. наук / Нац. исслед. Томский политехн. ун-т. Томск, 2013.
16. Челноков Г.А., Харитонова Н.А. Углекислые минеральные воды юга Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2008. 165 с.
17. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 203 с.
18. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия марганца в процессах гипергенеза: обзор // Биосфера. 2013. Т. 5, № 1. С. 21–36.
19. Bosch J., Lee K.-Y., Jordan G., Kim K.-W., Meckenstock R. Anaerobic, nitrate-dependent oxidation of pyrite nanoparticles by *Thiobacillus denitrificans* // Environment. Sci. Technol. 2012. Vol. 46. P. 2095–2101.
20. Kharitonova N.A., Chelnokov G.A., Karabtsov A.A., Kiselev V.I. Geochemistry of Na-HCO_3 groundwater and sedimentary bedrocks from the central part of Sikhote-Aline mountain region (Far East of Russia) // Applied Geochem. 2007. Vol. 22. P. 1764–1776.
21. Korzeniewska E., Filipkowska Z., Domeradzka S., Wlodkowski K. Microbiological quality of carbonated and non-carbonated mineral water stored at different temperatures // Polish J. Microbiol. 2005. Vol. 54. P. 27–33.
22. Ladygina N., Dedyukhina E., Vainshtein M. A review on microbial synthesis of hydrocarbons // Process Biochem. 2006. Vol. 41, iss. 5. P. 1001–1014.
23. Sirisena K.A., Daughney C.J., Moreau-Fournier M., Ryan K.G., Chambers G.K. National survey of molecular bacterial diversity of New Zeland groundwater: relationships between biodiversity, groundwater, chemistry and aquifer characteristics // FEMS Microbiol. Ecology. 2013. Vol. 86. P. 490–504.