

УДК 556.314

О.В. ЧУДАЕВ, Н.А. ХАРИТОНОВА, Г.А. ЧЕЛНОКОВ, И.В. БРАГИН

Гидроминеральные ресурсы Приморского края

Дано представление об основных типах минеральных вод, распространенных в пределах Приморского края России. Приведены сведения по запасам каждого типа подземных вод, а также обобщающие данные по основным ионам, микроэлементам, изотопным отношениям, полученные авторами на протяжении последних 20 лет. На основании полученных результатов сделаны выводы о происхождении и условиях формирования гидроминеральных ресурсов Приморского края. Показано, что все изученные минеральные воды имеют единый атмосферный источник питания, а сопутствующие газы могут иметь как воздушное, так и глубинное происхождение. Геохимические различия изученных подземных вод обусловлены временем циркуляции, составом водо-вмещающих пород и эволюцией в системе вода–порода–газ.

Ключевые слова: минеральные воды, условия формирования, период водообмена, изотопы, бальнеологические компоненты, запасы вод.

Water and mineral resources of Primorsky Krai. O.V. CHUDAEV¹, N.A. KHARITONOVA^{1,2}, G.A. CHELNOKOV¹, I.V. BRAGIN¹ (¹Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, ²Lomonosov Moscow State University).

The article gives an idea of the main types of mineral water distributed within the Primorsky Krai of Russia. It presents data on stocks of each type of groundwater, as well as summarizes the data on the main ions, trace elements, isotope ratios obtained by the authors in the last 20 years. Based on these results conclusions about the origin and formation conditions of the water and mineral resources of Primorsky Krai have been made. It is shown that all the studied mineral waters have single atmogenic source of supply and associated gases can have both air and deep origin. Geochemical differences of the studied groundwater are caused by circulation time, composition of water-bearing rocks and evolution in water-rock-gas system.

Key words: mineral waters, formation conditions, water exchange time, isotopes, balneal components, water stocks.

Введение

Подземные минеральные воды – сложные многофазные системы, содержащие в растворенном виде органические и неорганические вещества и газы. Они обладают целебными свойствами и широко используются в бальнеологии. Изучение гидроминеральных ресурсов Дальнего Востока охватывает уже более чем 100 лет, но примерно до 90-х годов XX в. минеральные воды традиционно рассматривались только с лечебных позиций. Исследованием формирования их состава занимались многие российские

*ЧУДАЕВ Олег Васильевич – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, ЧЕЛНОКОВ Георгий Алексеевич – кандидат геолого-минералогических наук, и.о. заведующего лабораторией, БРАГИН Иван Валерьевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток), ХАРИТОНОВА Наталья Александровна – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва). *E-mail: chudaev@fegi.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ДВО РАН № 15-1-2-097, грантов РФФИ № 14-05-00243, 15-35-50438, 14-05-00171А, 15-35-50436; исследование содержания РЗЭ в подземных водах Приморского края проведено при финансовой поддержке проекта РНФ № 14-17-00415.

и зарубежные ученые. Большой вклад в формирование современных представлений о происхождении и эволюции минеральных вод внесли А.М. Овчинников, Н.И. Толстухин, В.В. Иванов, Г.А. Невраев, Е.В. Пиннекер, Г.С. Вартамян, Л.А. Яроцкий, Б.И. Писарский, В.А. Кирюхин, С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, А.М. Плюснин, А. Добре, Б.Н. Делоне, Л. Морэ, К. Кейльгака и др. На Дальнем Востоке работали В.А. Кирюхин, Н.М. Богатков, С.Р. Крайнов, В.В. Кулаков, Е.П. Юшакин, С.И. Батюков, А.Н. Челноков, Б.И. Челнокова, О.В. Чудаев, В.А. Чудаева и др.

На территории Приморского края широко распространены разнообразные гидро-минеральные ресурсы, многие из которых используются уже более 70 лет. По нашим оценкам, здесь обнаружено более 100 проявлений минеральных вод, разгрузка большинства из которых на поверхности проявляется очень слабо. Поисково-разведочные работы, проведенные во второй половине прошлого века, позволили произвести учет запасов минеральных вод Приморья. По данным Гидрогеологической экспедиции Приморского края, на начало XXI в. здесь насчитывалось около 75 различных проявлений минеральных вод, большей частью холодных (4–12 °С). Термальные минеральные воды выявлены только на восточном побережье края. Они относятся к низкотемпературным и поэтому не могут использоваться для целей энергетики. В Приморском крае выделены три провинции: холодных углекислых вод областей молодой магматической деятельности; азотных щелочных терм областей новейших тектонических движений; азотных, азотно-метановых и метановых вод артезианских бассейнов платформ, краевых прогибов и складчатых областей.

Цель настоящей работы – установление генезиса трех основных типов минеральных вод региона на основе комплексного изучения их геолого-гидрогеологических особенностей, а также новейших данных по их химическому и изотопному составу. Также проведена оценка ресурсов лечебных минеральных вод Приморского края.

Объекты и методы исследования

Гидроминеральные ресурсы Приморского края неразрывно связаны с геологическим строением региона, где основную флюидо-генерирующую роль играет крупная тектонически активная структура – Сихотэ-Алинская складчатая система (рис. 1), вытянутая вдоль берега Японского моря на 1200 км. Площадь Сихотэ-Алинского гидрогеологического массива занимает около 70 % площади Приморского края.

Большая часть известных проявлений углекислых минеральных вод приурочена к Амуро-Уссурийской области, локализованной главным образом на западном склоне Сихотэ-Алиня [6]. Здесь разведаны крупнейшие месторождения углекислых вод Дальнего Востока России – Шмаковка, Ласточка, Мухен. На восточном склоне эксплуатируется только одно крупное месторождение – Горноводное. Самые незначительные по запасам месторождения углекислых вод (Нижние Лужки, Фадеевское) расположены в центральной части Сихотэ-Алиня.

Азотные термальные воды относятся к Восточно-Сихотэ-Алинской провинции азотных щелочных терм. Наиболее исследованные – Чистоводненская и Амгинская группы термальных вод.

Азотно-метановые воды повышенной минерализации выявлены на юге Приморского края в зоне сочленения отрогов Сихотэ-Алиня и Ханкайского массива. Эти проявления, приуроченные к морским побережьям, были вскрыты в конце XX в. при проведении поисково-разведочных работ на углеводороды или термальные воды. Пробуренные в процессе работ скважины глубиной более 2,5 км позволили обнаружить ранее не известные в Приморье типы вод. Сегодня эксплуатируется месторождение Раздольное, находящееся в долине одноименной реки. Большие перспективы имеет уникальное проявление слабых рассолов Речица в бухте Суходол.

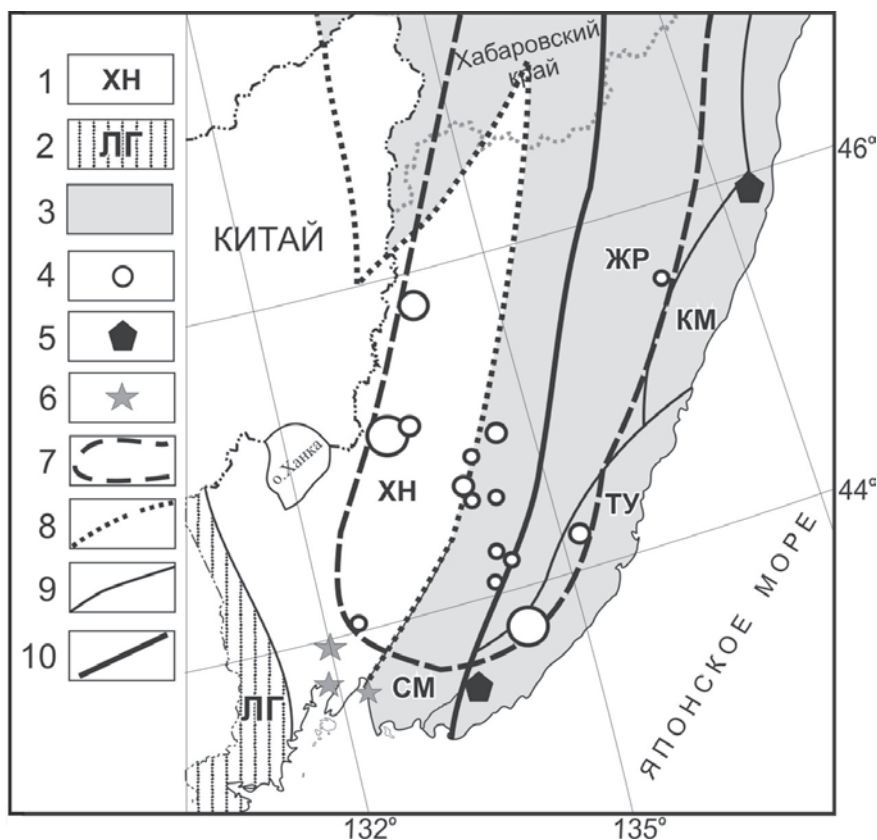


Рис. 1. Расположение различных типов гидроминеральных ресурсов на карте террейнов Приморского края (по [3] с изменениями). Условные обозначения: 1 – ранне-палеозойский Ханкайский супертеррейн; 2 – позднепалеозойский Лаоэлинь-Гродековский террейн; 3 – раннемеловые террейны: СМ – Самаркинский, ЖР – Журавлевский, КМ – Кемский, ТУ – Таухинский; 4 – месторождения и проявления углекислых минеральных вод (1 – Шмаковка, 2 – Ласточка, 3 – Горноводное, 4 – Нижние Лужки, 5 – Фадеевское, 6 – Раковка); 5 – месторождения и проявления азотных термальных вод (А – Амгинская, Ч – Чистоводненская группы термальных вод); 6) месторождения и проявления азотно-метановых вод повышенной солёности (Р – Раздольное, Д – Де-Фриз, С – Суходол); 7) Амуро-Уссурийская область провинции углекислых минеральных вод; 8) границы коллажей террейнов; 9) границы террейнов; 10) Центрально-Сихотэ-Алинский разлом

В сотрудничестве с производственными организациями Приморья и недропользователями прослежены гидрогеохимическая изменчивость эксплуатируемых месторождений, выявлены объемы защищенных запасов минеральных вод. Исследования велись на новейшем аналитическом оборудовании с помощью современных методик. На месте отбора пробы воду фильтровали через мембранные фильтры (0,45 мкм), измеряли уровень подземных вод, температуру, электропроводность, pH, HCO_3^- , во многих пробах – Eh, частично растворенный кислород. Для определения pH использовали портативные pH-метры фирм Horiba и Hanna. Для определения HCO_3^- на месте отбора проводили титрование. Основные ионы и микроэлементы определяли в Центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН. Определение катионов и анионов проводили методом ионной хроматографии на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-10Avp. Также основные катионы и микроэлементы определяли методами ICP-AES и ICP-MS. Сходимость результатов при параллельном определении была удовлетворительной. Стабильные изотопы кислорода и водорода анализировали на масс-спектрометре Finnigan MAT 252. Состав свободного газа исследовали на хроматографе Кристаллюкс-4000М в лаборатории газогеохимии Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичёва ДВО РАН (Владивосток), изотопный

состав углекислого газа ($\delta^{13}\text{C}$) – на масс-спектрометре VARTANT MAT-250 в МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва).

Основные результаты

Для понимания процессов формирования химического состава минеральных вод Приморья целесообразно дать краткую характеристику состава пресных подземных вод, на основе которых формируются минеральные воды. Сихотэ-Алинская гидрогеологическая складчатая область характеризуется развитием трещинных вод с достаточно высокой скоростью водообмена и, как правило, невысокой минерализацией [4]. Смешанный состав основных ионов атмосферных осадков наследуется пресными подземными водами, которые имеют пестрый химический состав – от гидрокарбонатно-кальциевого до сложного гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридного кальциево-натриевого. Общая минерализация находится в пределах 140 мг/дм³, в отдельных случаях может достигать 350 мг/дм³. Для пресных подземных вод Приморья характерен большой разброс pH – от слабокислых (5,4) до нейтральных значений. Кислые значения pH подземных вод обусловлены атмосферными осадками, которые имеют столь же низкие значения (5,0–5,5). Сравнение данных по стабильным изотопам $\delta^{18}\text{O}$ и δD в атмосферных осадках (включая снег и дождь) с данными по грунтовым водам Приморья выявляет близкое расположение точек грунтовых вод по отношению к точкам атмосферных осадков (рис. 2).

В целом пресные подземные воды Приморья, хотя и имеют невысокую минерализацию, заметно различаются как по составу основных ионов, так и по содержанию микроэлементов, что отражает геолого-гидрогеологические условия водоносных горизонтов.

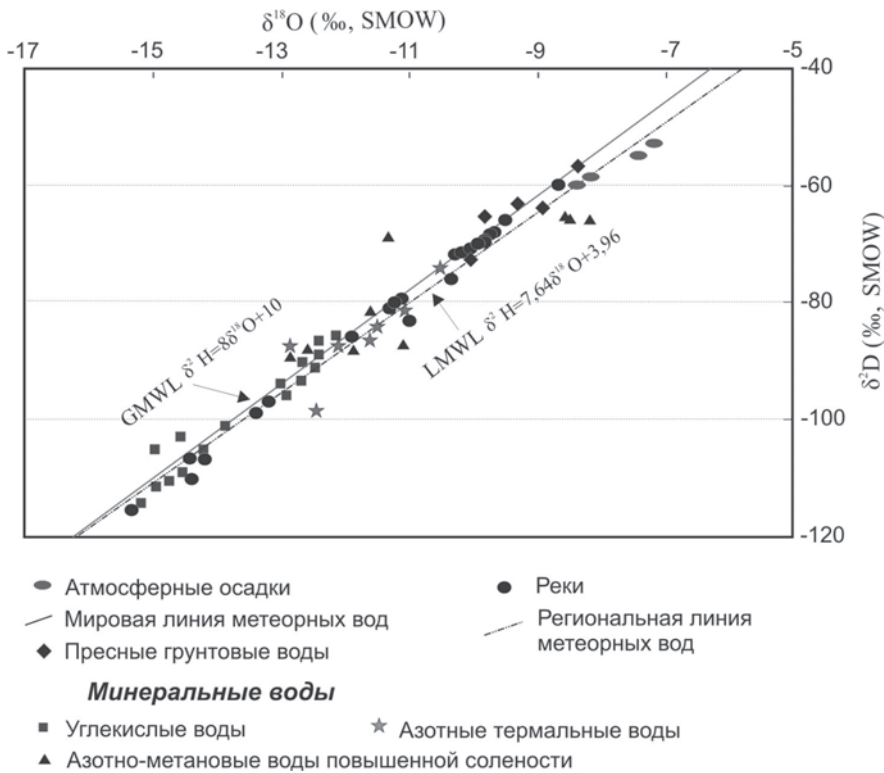


Рис. 2. Соотношения изотопов кислорода-18 и дейтерия в изученных водах. 1 – атмосферные осадки, 2 – реки, 3 – пресные грунтовые воды, 4, 5 – мировая (4) и региональная (5) линии метеорных вод, 6–8 минеральные воды: углекислые (6), азотные термальные (7), азотно-метановые повышенной солености (8)

Углекислые минеральные воды наиболее широко распространены на территории края. Прогнозные ресурсы углекислых минеральных вод Приморского края составляют более 27,0 тыс. м³/сут [8]. К настоящему моменту выявлено около 80 проявлений углекислых минеральных вод, в числе которых крупнейшее на Дальнем Востоке Шмаковское месторождение, общие прогнозные ресурсы которого оцениваются в 2500 м³/сут, а эксплуатационные запасы утверждены в количестве 1697 м³/сут [8]. Большинство месторождений располагаются на западном склоне Сихотэ-Алиня и приурочены к тектоническим нарушениям Сихотэ-Алинской горно-складчатой области. Месторождения Шмаковка, Ласточка, Раковка и некоторые другие приурочены к Уссури-Амурскому гидроминеральному району.

Геолого-гидрогеологическая обстановка исследованных месторождений позволяет утверждать, что необходимым условием формирования холодных углекислых минеральных вод является наличие активных глубинных разломов, выводящих углекислый газ в горизонты подземных вод. Выходы холодных углекислых вод всегда связаны с территориями, где проявляется современная тектоническая активность. Как правило, очаги разгрузки вод либо локализуются в зонах высокой сейсмической активности, либо приурочены к узлам пересечения разрывных нарушений. Именно тектоническая структура территории (наличие проницаемых разломов и присутствие перекрывающих месторождение пород) приводит к ускорению реакций взаимодействия в системе вода–порода–углекислый газ, в результате чего в зоне активного водообмена формируются месторождения углекислых минеральных вод [5, 7]. Нередко выходы углекислых минеральных вод прослеживаются прерывистой цепочкой по сейсмоактивным линиям значительной протяженности либо по фрагментам кольцевых структур.

Гидрогеологические исследования показывают, что месторождения углекислых минеральных вод Приморского края локализованы в различных типах водовмещающих пород: в вулканогенных толщах расположены углекислые воды месторождений Горноводное, Нижние Лужки; к трещиноватым интрузивным породам приурочены воды месторождения Шмаковка; в осадочных породах формируются месторождения Фадеевское, Ласточка, Шмаковка (участок Восточно-Уссурийский). Выделяется два типа вод: 1) трещинные, формирующиеся в верхней трещиноватой зоне коренных (скальных) пород и локализующиеся вокруг активных частей разломов, выводящих углекислый газ, и 2) пластово-поровые воды, образующиеся в поровых коллекторах мощных (более 20 м) аллювиальных отложений и распространенные над выходом активной части разлома, подводящего углекислый газ.

Типизация минеральных вод по химическому составу приведена в таблице. Очевидно, что на территории края широко распространены шесть самостоятельных типов углекислых минеральных вод. Все воды гидрокарбонатные, смешанного катионного состава и различной минерализации. Температура углекислых минеральных вод варьирует от 8 до 12 °С, воды слабокислые или нейтральные (рН 4,5–7,5). Концентрация HCO_3^- достигает 7500 мг/дм³, содержание хлор-иона и сульфат-иона незначительно [10, 11]. Минерализация вод сильно варьирует по месторождениям: наиболее минерализованными являются гидрокарбонатные натриевые воды месторождения Ласточка (до 6,0 г/дм³), наименее – гидрокарбонатные кальциевые магниевые воды месторождения Фадеевское (< 0,7 г/дм³). Анализ соотношений основных компонентов свидетельствует о том, что минерализация подземных вод месторождений напрямую зависит не столько от поступления в водный раствор основных катионов, сколько от внедрения в воду углекислого газа, который, растворяясь, способствует увеличению содержания HCO_3^- . Содержание SiO_2 достигает 90 мг/дм³, что делает воды ценными в бальнеологическом отношении. Концентрации железа повышены почти во всех водах, максимальное значение 30 мг/дм³.

Изотопные соотношения δD и $\delta^{18}\text{O}$ в углекислых водах свидетельствуют об их метеорном происхождении, а наблюдаемые вариации изотопов – результат взаимодействия в системе вода–порода–газ (рис. 2). Прослеживается отчетливая широтная зависимость величин δD и $\delta^{18}\text{O}$ в изученных месторождениях углекислых минеральных вод. Поскольку большинство месторождений углекислых минеральных вод Приморья находится

в континентальной части края, характеризующейся затяжной, снежной зимой, их изотопные параметры заведомо ниже, чем у других типов минеральных вод, тяготеющих к прибрежным районам края.

Содержание трития в углекислых водах региона варьирует в зависимости от источника, составляя в среднем 0,59 Бк/кг, что указывает на достаточно длительный период водообмена в данных гидрогеологических системах. Расчет возраста воды по поршневой модели показывает, что минимальное время пребывания вод в гидрогеологической системе составляет $\approx 21,5$ лет. Установлено, что содержание ^3H в минеральных углекислых водах зависит только от времени их циркуляции и степени разбавления поверхностными водами.

Общая газонасыщенность углекислых вод Приморья невысока, газовый фактор редко превышает 1–3. Исследование газовой фазы месторождений показало, что основным компонентом газов изученных месторождений является CO_2 , второстепенными – кислород, азот, аргон и гелий. Величина CO_2 в составе свободно выделяющейся газовой смеси находится в диапазоне значений 94,7–99,9 об. %, количество N_2 составляет 0,1–5,2 об. %, O_2 – 0,005–0,5, Ar – 0,05–0,28 об. %. Сумма прочих газов (CH_4 , He , Ne и др.) в среднем не превышает 0,05 об. %. Содержание растворенного углекислого газа в водах составляет 0,5–4 г/л, а рассчитанное парциальное давление – от 0,24 до 1,33 бар. Установлено, что у кислорода, азота и аргона – атмосферный генезис, в то время как углекислый газ и гелий имеют глубинное происхождение. Генезис CO_2 , по изотопным отношениям $\delta^{13}\text{C}$ и соотношениям $\text{CO}_2/^3\text{He}$, связан с мантийными процессами, в то время как влияние земной коры незначительно [9].

Азотные термальные воды. Систематическое изучение азотных терм Сихотэ-Алиня начато нами еще в 1995 г., до настоящего времени проводится ежегодный мониторинг основных терм Сихотэ-Алиня (Чистоводненская и Амгинская группы). Термальные воды Сихотэ-Алиня принадлежат к провинции азотных термальных вод молодых тектонических движений, распространенных, как правило, в пределах гранитных массивов. Тектонический фактор контролирует прежде всего расположение гранитоидов, циркуляция вод в которых осуществляется по нарушениям сколового и трещинного характера. Геологическая ситуация изученных проявлений достаточно близка – это контактные зоны между интрузиями гранитов и эффузивными породами Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Как правило, основными подводящими каналами являются трещины и зоны дробления. Температура вод на выходе источников увеличивается с юга на север. Так, на юге Приморья в Чистоводненской группе источников температура воды составляет 27 °С, а на севере в Амгинской группе температура близка к 34 °С. Рассчитанные базовые температуры глубинных резервуаров по кварцевому геотермометру показали следующие вероятные значения температур: Чистоводненские источники – около 60 °С, Амгинские источники – около 80 °С [9]. Это может свидетельствовать о более глубокой циркуляции вод по направлению к северу. Так, на южных источниках, по данным бурения, воды прослежены до глубины 200 м, а на севере – до глубины более 400 м. С другой стороны, нельзя исключать влияние геотермического градиента, который также изменяется с юга на север.

Характерной особенностью термальных вод являются значения $\text{pH} > 8$ и низкая минерализация. Среди основных катионов преобладает Na , в составе анионов – гидрокарбонат-ион. Это типичные содовые воды с резким преобладанием гидрокарбонат-иона и натрия, которые выделены в собственный тип (см. таблицу). Поведение химических элементов в изученных водах контролируется скоростью водообмена и формированием вторичных минеральных фаз. Судя по низкой минерализации вод и характеру распределения микроэлементов, циркуляция вод в толще пород происходит достаточно быстро.

Ниже приводится характеристика источника Горячий ключ, принадлежащего к Чистоводненской группе, который изучен нами наиболее разносторонне. Температура источника составляет 29 °С, дебит – 0,83 л/с. Аномалии температурного поля грунта выявлены в верховьях долины ручья и приурочены к зонам трещиноватости. Размер контура

Характеристика гидроминеральных ресурсов Приморского края

Группа	Класс	Подкласс	Минерализация, г/дм ³ . Тип	Характерные проявления	Запасы, м ³ /сут / категория	Бальнеологические компоненты
Углекислые холодные	HCO ₃	Ca ²⁺ , Na ⁺ ; Ca ²⁺ –Mg ²⁺ ; Na ⁺ –Mg ²⁺ –Ca ²⁺	< 1 Приморский (железистые, кремнистые)	Раковский источник Ариадненская группа Неробинский источник Самаркинская группа Ленинская группа Месторождение Фадеевское Нижние Лужки	10 / C ₁ 200 / C ₁ 10 / C ₁ 10 / C ₁ 10 / C ₁ 45 / B 50 / B	Fe; H ₂ SiO ₃
		Na ⁺ –Mg ²⁺ –Ca ²⁺ ; Ca ²⁺ ; Na ⁺	1–2 Покровский	Источник Покровский	6 / C ₁	H ₂ SiO ₃ ; Fe
		Ca ²⁺ –Mg ²⁺ –Na ⁺ ; Ca ²⁺ –Na ⁺	3–6 Ласточкинский	Месторождение Ласточка	63,2 / A	H ₂ SiO ₃
		Na ⁺ –Mg ²⁺ –Ca ²⁺ ; Mg ²⁺ ; Ca ²⁺	2–5 Турш-Су (железистые)	Месторождение Шмаковское, участок Восточно-Уссурийский	864 / B	Fe; H ₂ SiO ₃
		Mg ²⁺ –Ca ²⁺ ; Ca ²⁺	1–5 Дарасунский (железистые)	Месторождение Шмаковское, участок Медвежий участок Остропочный Месторождение Горноводное Шетухинская группа	259 / B 25,2 / B 144 / B 10 / C ₁	H ₂ SiO ₃
		Mg ²⁺ –Ca ²⁺ ; Ca ²⁺	1–5 Шмаковский	Месторождение Шмаковское, участок Уссурийский	327 / B	–
Азотные термальные	CO ₃ - HCO ₃	Na ⁺ ; Na ⁺ –Ca ²⁺	< 1 Чистоводненский	Чистоводненское Амгинская группа	287 / A 25 / C ₁	H ₂ SiO ₃ ; F T = 20–36 °C
Азотно-метановые повышенной солености	HCO ₃	Na ⁺	4,8–5,3 Поляно-Квасовский	Месторождение Раздольненское	6 / B	B; F
	Cl	Ca ²⁺ –Na ⁺ ; Na ⁺ –Mg ²⁺ –Ca ²⁺	34,7–63 Мухури-Лугела	Проявление Речица	6 / C ₁	Br; Sr; Fe
				Проявление Де-Фриз	5 / C ₁	

Примечание. Прочерк – не обнаружено.

термальной площадки – 2 x 2 м, общая минерализация – 0,182 г/л, pH 8,5. По основному ионному составу подземные термальные воды источника Горячий ключ относятся к гидрокарбонатным, карбонатно-гидрокарбонатным натриевым водам низкой минерализации с повышенным содержанием кремния и фтора. Доля сульфат-иона не превышает 17 %-экв. Состав стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в термальных водах аналогичен близлежащим речным и холодным подземным водам; все они расположены близко к линии метеорных вод (рис. 2), что указывает на метеорный источник термальных вод.

Время циркуляции азотных термальных вод от областей питания до области разгрузки оценено с помощью измерения трития. Фоновое содержание трития для поверхностных вод водосбора восточного Сихотэ-Алиня составляет от 1,13–1,56 Бк/кг. Полученное для источника Горячий ключ значение – 0,04 Бк/кг. Расчет времени транзита термальных вод источника Горячий ключ показал, что это воды достаточно длительного периода водообмена – 68,5 лет (по снегу) и 57,3 года (по дождю). Это указывает на пространственную разобщенность зоны питания и зоны разгрузки термальных вод, а также подтверждает результаты гидрогеологических и гидрохимических наблюдений, показавших отсутствие непосредственного участия поверхностных и грунтовых вод в питании терм. Очевидно, что при смешении с пресными водами приповерхностных горизонтов величина трития была бы намного больше.

Воды слабогазирующие, в газовой составляющей преобладает азот (до 72,5–97,2 %). Согласно нашим данным, газовая составляющая имеет атмосферное происхождение, что типично для азотных терм Дальнего Востока [2, 9]. Отсутствие влияния ювенильных газов для термальных вод Чистоводненской группы подтверждается низкими отношениями изотопов гелия $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($0,1\text{--}0,24$) $\times 10^{-6}$ [1]. Измерения радона показали значения, не позволяющие отнести источник к радоновому типу. Общая α -радиоактивность в воде составляет 0,01–0,05 Бк/л, общая β -радиоактивность не превышает 0,47 Бк/л.

Результаты исследований подтвердили предположение о том, что проявления азотных терм Сихотэ-Алиня формируются в верхней гидрохимической зоне. Гидрокарбонатный состав терм, низкие минерализация и температура указывают на то, что формирование термальных вод, вероятнее всего, является результатом неглубокой (1–2 км) циркуляции и связано с температурными аномалиями гранитных интрузий, широко распространенных в регионе.

Азотно-метановые воды повышенной солености. Данный тип вод фиксируется исключительно в пределах южного побережья Приморского края, что в первую очередь связано с геологическими и палеогидрогеологическими условиями. Здесь развиты краевые бассейны субнапорных вод, приуроченные к кайнозойским наложенным впадинам. Бассейны ограничены областью разгрузки. Для краевых бассейнов субнапорных вод характерен существенно глинистый состав слагающих их терригенных и эффузивно-терригенных пород, чем обусловлены ограниченные водно-емкостные свойства последних. В то же время на остальной площади развит корово-трещинный тип проницаемости, связанный с зоной экзогенной трещиноватости скальных пород. Воды данного типа залегают на глубинах 100–500 м и приурочены к зонам тектонических нарушений. В естественных условиях воды не имеют разгрузки на дневную поверхность. Вскрывающие их скважины изливаются с небольшим дебитом.

По минерализации и гидрохимическому типу изученные воды можно разделить на две группы: 1) минерализация 1–10 г/дм³, воды гидрокарбонатного натриевого либо гидрокарбонатного натриево-кальциевого состава и 2) минерализация 35–65 г/дм³, воды хлоридного натриево-кальциевого (с преобладанием кальция) или смешанного катионного состава (см. таблицу).

Воды первого типа характерны для кайнозойских отложений, имеющих в своем составе органические остатки. Вскрывающие их скважины изливаются с небольшим дебитом, примером может служить Раздольненское месторождение [12]. Характерной особенностью таких вод являются высокие содержания HCO_3^- и Na^+ , бора и фтора, а также низкие

значения SO_4^{2-} . В газовом составе таких вод присутствует метан и азот, а уголекислоты содержится менее 10 %. Сложность гидрогеологических условий определяет нахождение этих вод в мезозойских коллекторах, сформированных тектонической раздробленностью. Несмотря на повышенную соленость, данный тип вод имеет метеорное происхождение. Соотношения стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ показывают, что формирование таких вод происходило в теплом климате. Этим объясняется близкое расположение фигуративных точек пресных подземных и соленых вод. В условиях эксплуатации месторождений фиксируется приток современных вод ($^3\text{H} = 2$).

Второй тип вод характерен для областей внедрения морских интрузий (проявление на п-ове Де-Фриз), но встречаются и уникальные для Приморья проявления (Речица). Слабые рассолы хлоридного натриево-кальциевого состава, проявленные в интервале глубин 15–250 м, имеют минерализацию выше 35 г/дм³ (в среднем 48 г/дм³; единичные измерения – до 110 г/дм³), а также повышенные концентрации кальция, магния и сульфат-иона. Концентрация Ca^{2+} в рассолах в два раза выше концентрации Na^+ и значительно больше, чем в изученных окружающих водах. Содержания брома находятся на уровне морских вод и выше – 65–120 мг/дм³, в то время как йод не фиксируется. Исследования химического состава рассолов показали, что они формируются при длительном взаимодействии инфильтрационных вод с диагенезированными терригенно-осадочными, пресноводными и морскими породами мезозоя (триаса), а гидрохимические коэффициенты (rNa/rCl , Cl/Br , $\text{rSO}_4 * 100/\text{rCl}$ и пр.) указывают на высокую степень их метаморфизма. Наиболее вероятной областью питания рассолов может являться красноцветная толща альб-сеноманского возраста, сформировавшаяся в аридных условиях и залегающая в осевой части Петровской впадины. В этом случае поступление минерализованных вод возможно по Дунайскому разлому, проходящему непосредственно в районе скважин. Третий практически полностью отсутствует ($^3\text{H}=0,3$), что характеризует замкнутость водоносного горизонта в стационарных условиях.

Результаты анализов растворенного газа на проявлении Речица показали, что в составе свободного газа преобладает N_2 (35–45 об. %), CH_4 (35–40, CO_2 (5–20) и O_2 (2–11 об. %). На изливе дегазация проявляется микропузырьками, газовый фактор очень низкий.

По результатам газогеохимических исследований в акватории бухты Суходол выделена перспективная на метан газоносная площадь [4]. Однако связи химического состава вод и газов с процессами преобразования органического вещества не наблюдается.

Заключение

Исследования различных геохимических типов минеральных вод Приморья позволили выявить гидрогеологические и геохимические факторы их формирования. Создана научная основа для их широкого использования, а также открытия новых месторождений. Анализ состояния гидроминеральной базы санаторно-курортного комплекса Приморского края показал, что использование богатейших природных ресурсов весьма незначительно и не отвечает существующим потребностям региона. Так, в Приморье количество используемых минеральных вод не превышает 10–30 % от прогнозных ресурсов. Оценка ресурсов лечебных минеральных вод в регионе и опыт их эксплуатации свидетельствуют, что наиболее перспективными для разведки и освоения являются Покровское и Раковское проявления (из уголекислых вод), а также месторождение Горноводное. Использование азотных терм Теплый ключ также имеет большие перспективы. Группа азотно-метановых вод с минерализацией более 30 г/дм³ является уникальной для изучения их бальнеотерапевтических свойств и проведения научных исследований. Таким образом, юг Дальнего Востока обладает огромным потенциалом для расширения использования минеральных вод. Практически все районы территории могут быть обеспечены минеральными водами, пригодными для использования в лечебно-профилактических целях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боголюбов А.Н., Корпьяков О.П., Бенкевич Л.Г., Юденич В.С. Изотопы гелия в подземных водах Приморья // Геохимия. 1984. № 8. С. 1241–1244.
2. Брагин И.В., Челноков Г.А. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня. Газовый аспект // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 4. С. 147–151.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
4. Гресов А.И., Обжиров А.И., Коровицкая Е.В., Шакиров Р.Б. Метаногенность и перспективы освоения ресурсов метана угольных пластов бассейнов юга Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 2. С. 103–116.
5. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н. Причины геохимического разнообразия углекислых вод в массивах кристаллических пород // Водн. ресурсы. 2002. Т. 29, № 1. С. 26.
6. Лучанинова В.Н., Каргина А.П., Рудич В.П. Минеральные воды Приморского края // Вестн. ДВО РАН. 1992. № 3/4. С. 125–129.
7. Рыженко Б.Н., Крайнов С.Р. О влиянии соотношения регулирующих масс породы и воды на формирование химического состава природных водных растворов в системах, открытых по CO_2 // Геохимия. 2000. № 8. С. 803.
8. Челноков А.Н. Подземные минеральные воды Приморья (распространение, ресурсы и особенности формирования): дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 1997. 165 с.
9. Челноков Г.А., Харитонов Н.А. Углекислые минеральные воды юга Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2008. 165 с.
10. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 216 с.
11. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Челноков А.Н., Эдмундс У.М., Шанд П. Минеральные воды Приморья (химический аспект). Владивосток: Дальнаука, 1999. 160 с.
12. Chelnokov G., Kharitonova N., Bragin I., Chudaev O. Geochemistry of mineral water and gases of the Razdolnoe Spa (Primorye, Far East of Russia) // Appl. Geochem. 2015. Vol. 59. P. 147–154.