

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ
ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД
СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ
СССР

ЛЕНИНГРАД

1979

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ВСЕГЕИ)

Труды

Том 260

Новая серия

174

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ
ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД
СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ
СССР

Сборник научных трудов



ЛЕНИНГРАД

1979

Металлоносность термальных вод складчатых областей СССР. Л., 1979. 123 с. (М-во геологии СССР. Всесоюз. ордена Ленина науч.-исслед. геол. ин-т. Труды, нов. сер., т. 260).

В статьях сборника охарактеризована металлоносность термальных вод различных горно-складчатых областей территории СССР: Курило-Камчатской, юга Дальнего Востока, Забайкалья, Саяно-Алтая, Памира, Тянь-Шаня, Кавказа, Крыма и Карпат. Для каждого описываемого региона выявлены основные закономерности распространения металлов в различных группах и типах терм, намечены зоны с определенными устойчивыми ассоциациями металлов в термальных водах, рассмотрены вопросы использования данных о металлоносности этих вод для целей регионального металлогенического прогнозирования.

Сборник рассчитан на гидрогеологов, гидрохимиков, геологов, занимающихся изучением закономерностей распространения и формирования термальных вод и гидротермальных месторождений.

Научный редактор И. К. ЗАЙЦЕВ

Предисловие

В настоящее время в результате различных исследований накоплен довольно обширный материал по металлоносности термальных вод складчатых областей СССР. В термальных водах установлено более 40 металлов. Часть из них (Na, K, Ca, Mg, реже Fe, Al и др.) относится к группе главных компонентов (или макрокомпонентов) ионно-солевого состава вод. Вместе с главными анионами (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , реже Br^- , F^-) эти металлы составляют обычно 99,9% всех растворенных в водах веществ. Остальные металлы (Ag, Cu, Zn, Pb, Mo, Ni, Co, W, Hg, Ge и др.) представляют собой аксессории (или микрокомпоненты) в ионно-солевом составе термальных вод. Сведения о металлах-макрокомпонентах весьма многочисленны, достаточно хорошо изучены и закономерности их распространения в термальных водах различного типа. Металлы-микрокомпоненты изучены значительно хуже, так как незначительные концентрации их в водах требуют высокой чувствительности применяемых аналитических методов: химических, физико-химических и физических (спектральный анализ сухих остатков вод). К тому же результаты анализов вод, выполненных различными методами, не всегда между собой достаточно сопоставимы, что прежде всего связано с разнообразием форм нахождения металлов в природных водах и различными возможностями отдельных аналитических методов.

Все это обуславливает большую сложность в сопоставлении и обобщении результатов определений металлов-микрокомпонентов в термах, произведенных в разные годы и разными методами в различных лабораториях. Вместе с тем выявление закономерностей распространения этих металлов в термах имеет важное значение как в познании процессов современного рудообразования, так и в поисковых целях. В статьях настоящего сборника осуществлен первый опыт систематизации и обобщения накопленных материалов по металлоносности микрокомпонентного состава термальных вод складчатых областей СССР. В основу большинства статей положены фактические данные, полученные в значительной мере в результате исследований авторов. Определение металлов химическими (и физико-химиче-

скими) методами, а также концентрирование (выпаривание и реже соосаждение) проб воды, приближенно-количественные и количественные спектральные анализы концентратов (сухих остатков) вод из коллекций авторов выполнены в разные годы в лабораториях ВСЕГЕИ. Наряду с материалами авторов широко использованы результаты определений металлов (в основном химическими и физико-химическими методами) других исследователей.

При обработке и систематизации материалов по металлоносности микрокомпонентного состава термальных вод складчатых областей СССР авторами приняты следующие общие положения.

1. Распределение металлов в термах рассматривается раздельно для различных типов термальных вод с учетом применяемых аналитических методов (данные химических и физико-химических методов анализов приведены в таблицах без скобок, данные спектральных анализов сухих остатков вод — в скобках).

2. Средние концентрации металлов рассчитаны путем среднегого арифметического раздельно для определений химическими (и физико-химическими) методами и спектральным анализом сухих остатков вод.

3. Понятие «процент обнаружения металла в термах» представляет собой отношение количества проб воды, в которых обнаружен металл, к общему количеству определений его в водах.

4. Формулы металлоносности микрокомпонентного состава вод отдельных водопунктов характеризуют: в числителе — ассоциации металлов, преобладающих в количественном отношении; в знаменателе — ассоциации металлов, находящихся в аномальных концентрациях относительно средних для данного типа терм в регионе. В ассоциациях преобладающих металлов (числитель) цифры над скобками показывают пределы их концентраций согласно следующим градациям (мг/кг): 1—>1; 2—0,1—1; 3—0,01—0,1; 4—0,001—0,01; 5—0,0001—0,001.

УДК 550.42 : 546 : 553.7 (571.6)

E. A. Басков, С. Н. Суриков

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ОБЛАСТИ

Курило-Камчатская область включает п-в Камчатку и Курильские острова. В геологическом строении территории участвуют в основном терригенные и вулканогенные толщи верхнемелового, палеогенового, неогенового и четвертичного возраста общей мощностью более 15—20 км. На Камчатке выделяются три тектонические зоны северо-восточного простирания: Западно-Камчатская, Центрально-Камчатская и Восточно-Камчатская.

Западно-Камчатская зона представляет собой прогиб, сложенный преимущественно терригенными (песчаники, алевролиты, аргиллиты) слабо метаморфизованными толщами верхнего мела, палеогена и неогена, залегающими на глубоко метаморфизованных толщах фундамента палеозойского (?) возраста.

Центрально-Камчатская зона приурочена к Срединному хребту Камчатки и представляет собой мегантиклиниорий, сложенный преимущественно сильно дислоцированными вулканогенными верхнемеловыми и кайнозойскими толщами. В его южной части выходят на поверхность глубоко метаморфизованные породы фундамента (гнейсы, кристаллические сланцы). Четвертичные вулканические породы (андезиты, базальты и др.) мощностью 0,2—0,5 км залегают весьма полого. В этой зоне широко распространены интрузивы ультраосновного и кислого состава, имеется большое число массивов гидротермально измененных пород, установлены многочисленные проявления рудной минерализации (Hg, Au, Cu и другие металлы).

Восточно-Камчатская зона включает Восточно-Камчатский и Центрально-Камчатский прогибы (синклиниории) и разделяющий их Восточно-Камчатский антиклиниорий. Восточно-Камчатский прогиб сложен преимущественно терригенными, местами флишоидными толщами палеогена и неогена общей мощностью до 8—10 км. Эти отложения обычно довольно сильно дислоцированы. Вместе с тем наблюдается уменьшение дислокаций

снизу вверх по разрезу. Сходное строение имеет, вероятно, и Центрально-Камчатский прогиб, изученный еще крайне слабо. Восточно-Камчатский антиклиниорий орографически выражен системой горных хребтов, сложенных сильно дислоцированными толщами верхнего мела, палеогена и неогена, прорванными многочисленными интрузиями. Здесь довольно часты проявления рудной минерализации. В пределах Восточно-Камчатского антиклиниория сосредоточены все действующие вулканы Камчатки.

Курильская островная дуга состоит из геоантиклиналии внутренней вулканической дуги (Большая Курильская гряда), геоантиклиналии внешней невулканической дуги (Малая Курильская гряда и хр. Витязь) и глубоководного желоба. Большая гряда сложена в основном осадочными и осадочно-вулканогенными толщами неогенового возраста, собранными в относительно простые складки, разбитые сбросами. Выше залегают четвертичные вулканогенные толщи. Неогеновые толщи прорваны изверженными породами основного, реже кислого состава. Для Большой Курильской гряды характерно широкое проявление современного вулканизма. На островах известно около 40 действующих вулканов.

В строении Малой Курильской гряды участвуют сравнительно сильно метаморфизованные вулканогенные толщи нижнего мела (?), а также вулканогенно-осадочные образования верхнего мела и вулканогенные — палеогена. Общая видимая мощность их более 2—3 км. Продольный прогиб, разделяющий Большую и Малую Курильские гряды, выполнен слабо уплотненными осадками мощностью более 3 км. В пределах Курило-Камчатского глубоководного желоба мощность осадочных образований достигает 3—4 км.

Курило-Камчатская область характеризуется широким проявлением медной, молибденовой, свинцово-цинковой, золото-серебряной, ртутной, мышьяковистой, серной минерализации в основном неогенового возраста [8, 9]. Гидрогеологические условия области очень сложны. Здесь выделяются Западно-Камчатская, Восточно-Камчатская и Курильская гидрогеологические складчатые области [23]. В Западно- и Восточно-Камчатской областях антиклинальные поднятия представляют собой системы гидрогеологических массивов и адмассивов с господством трещинно-жильных, пластово-трещинных, массиво-трещинных и других подземных вод, в основном пресных гидрокарбонатных с минерализацией до 0,1—0,5 г/кг. К синклинальным зонам (и прогибам) приурочены адартезианские (и реже артезианские) бассейны, содержащие пластовые скопления пресных (в верхних горизонтах) и соленых (обычно с глубин 300—500 м) вод. Широко развиты на Камчатке также системы вулканогенных супербассейнов и супермассивов, приуроченные к вулканическим плато и конусам. Они содержат преимущественно пластово-

трещинные, реже порово-пластовые воды с минерализацией до 0,1—0,2 г/кг (за исключением районов действующих вулканов).

Большая часть структур Курильской области перекрыта морскими водами. В пределах островов наиболее широко развиты адмассивы, адбассейны и вулканогенные супермассивы и супербассейны, содержащие пресные (обычно до 0,1—0,2 г/кг) воды выше уровня базиса эрозии и соленые (до 10—30 г/кг) воды на больших глубинах.

Отмеченные выше особенности геологического строения Курило-Камчатской области, в частности интенсивное проявление в ее пределах новейшей разрывной тектоники и современного вулканизма, предопределили весьма большое развитие и разнообразие термальных вод.

Для рассматриваемого региона выделяются две крупные группы термальных вод: кислые с pH менее 4,5 и слабокислые и слабощелочные с pH более 4,5 — резко отличающиеся по условиям карбонатного равновесия и обладающие существенно различной химической активностью. В пределах этих групп выделяются подгруппы по газовому составу, а в пределах каждой подгруппы — типы по преобладающему анионному составу. Имеющийся материал позволяет наметить некоторые закономерности приуроченности отдельных типов термальных вод к определенным гидрогеологическим структурам. Так, кислые термы приурочены только к действующим вулканам, представляющим собой наложенные вулканогенные супермассивы. Кроме того, только в пределах этих структур встречаются слабокислые и слабощелочные углекислые и сероводородно-углекислые сульфатные термальные воды. Азотные сульфатные термы приурочены преимущественно к Центрально-Камчатской системе гидрогеологических массивов и адмассивов. Углекислые и азотно-углекислые хлоридные, а также углекислые гидрокарбонатные термы широко развиты в пределах Восточно-Камчатской и Курильской систем адбассейнов, адмассивов, массивов и вулканогенных супермассивов. В артезианских и адартезианских бассейнах Камчатки (Западно-, Центрально- и Восточно-Камчатский), вероятно, повсеместно развиты азотно-метановые и метановые хлоридные (реже гидрокарбонатные) термальные воды, вскрытые на ряде нефтеразведочных площадей [8, 10]. Основные закономерности распространения различных типов терм показаны на рис. 1 и 2. Провинции термальных вод в пределах рассматриваемого региона выделяются по преимущественному распространению тех или иных их типов в определенных гидрогеологических структурах.

Сведения о наличии металлов в термальных водах Курило-Камчатской области имеются в опубликованных работах многих исследователей [1—7, 10—19, 21, 22, 25—28 и др.]. Все эти данные, а также материалы, полученные авторами в результате ис-

следований на Курильских островах, использованы в настоящей работе.

В статье, в таблицах, приведены обобщенные данные о металлоносности разных типов гидротерм Курило-Камчатской области. Для отдельных типов гидротерм рассчитаны средние содержания металлов раздельно для определений, выполненных различными аналитическими методами, приводятся сведения о максимальных содержаниях и частоте обнаружения (% обнаружения). Все это в сочетании с данными о количестве проб (определений) достаточно полно отражает состояние изученности металлоносности терм региона.

Следует отметить, что если химическими методами определялись только металлы макрокомпонентного состава (K, Na, Mg, Ca, Fe, Al) и отдельные металлы микрокомпонентного состава (Mn, Zn, Cu, Pb, As, Sb, Hg, Li, Rb, Cs и др.), то спектральный анализ, как правило, включал в себя определение 45 элементов, в том числе ряда металлов-макрокомпонентов (K, Na, Mg, Ca, Fe, Al). Металлы макрокомпонентного состава (иначе за исключением Fe и Al) в настоящей работе не рассматриваются. Металлы, которые не были обнаружены в тех или иных типах вод, не включались в таблицы обобщенных данных, отсюда и различное их количество в разных таблицах. Ниже дается характеристика металлоносности микрокомпонентного состава различных типов термальных вод региона.

Группа кислых термальных вод

Кислые сероводородно-углекислые, углекислые (реже азотные хлоридные) термальные воды распространены на Камчатке и Курильских островах на фумарольных полях действующих вулканов. На Камчатке они наиболее изучены в кальдере Узон, на вулкане Мутновском; на Курильских островах — на вулканах Эбеко, Менделеева, Головнина. По общему химическому составу эти термы обычно хлоридные водородные и водородно-натриевые с минерализацией от 2—4 до 20—40 г/кг, величина pH их колеблется от 0,05 до 2—4, температуры от 50—60 до 90—100° С и более. В газах преобладает углекислота, присутствуют также сероводород, азот, метан и др., за исключением источников Нижнеменделеевских (107) * и Нижнедокторских (105), где преобладает азот (до 91%).

Для рассматриваемого типа гидротерм характерны прежде всего весьма высокие концентрации Fe — до 400—600 мг/кг и Al — до 400—1500 мг/кг (табл. 1). Эти металлы в большинстве случаев в кислых хлоридных термах принадлежат уже к макрокомпонентному составу. В микрокомпонентном составе этих

* Здесь и далее после названия источника дан его номер на рис. 1 и 2.

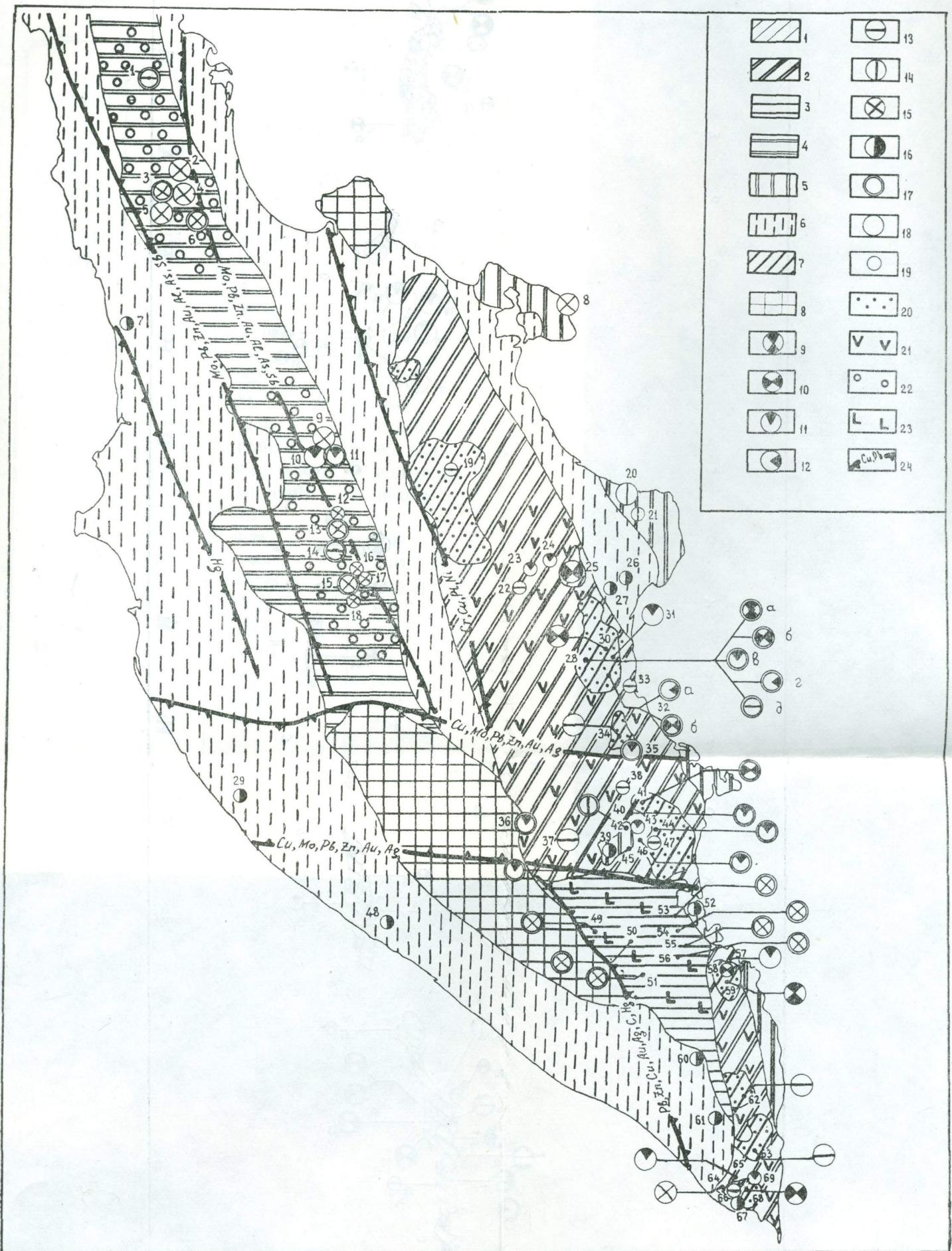


Рис. 1. Схематическая карта термальных вод Камчатки (с данными о металлоносности).

1—7 — провинции термальных вод: 1 — кислых сероводородно-углекислых и углекислых хлоридных и сульфатных, реже слабокислых и слабощелочных сероводородно-углекислых и углекислых разного анионного состава, 2—7 — слабокислых и слабощелочных: 2 — углекислых, сероводородно-углекислых и азотно-углекислых хлоридных, гидрокарбонатно-хлоридных и гидрокарбонатных, 3 — азотных сульфатных, 4 — азотных сульфатных, реже углекислых хлоридных и гидрокарбонатных, 5 — азотных хлоридных, 6 — азотных и азотно-метановых хлоридных, реже гидрокарбонатных, 7 — различных по газовому составу, преимущественно хлоридных; 8 — районы, где проявления термальных вод не установлены; 9—16 — проявления термальных вод: 9—10 — кислых: 9 — сероводородно-углекислых, углекислых, реже азотных хлоридных, 10 — сероводородно-углекислых и углекислых сульфатных, 11—16 — слабокислых и слабощелочных, реже щелочных: 11 — сероводородно-углекислых, углекислых и азотно-углекислых хлоридных, 12 — сероводородно-углекислых и углекислых гидрокарбонатных, 13 — углекислых гидрокарбонатных, 14 — азотных хлоридных, 15 — азотных сульфатных, 16 — азотно-метановых и метановых хлоридных, реже гидрокарбонатных; 17—19 — водопункты, для которых: 17 — определение металлов проводилось в полном объеме (полный спектральный анализ+химические определения отдельных металлов), 18 — имеются сведения по ограниченному количеству металлов (не более 10), 19 — металлы не определялись; 20—23 — гидроминерагенические зоны: 20 — с повышенными содержаниями Cu, Zn, Pb, As, Mn, Fe, Al, Ti, V, реже Hg, Mo, Li, Rb, Cs и др., 21 — с повышенными содержаниями Ag, Ge, As, Mn, Li, Rb, Cs, Sr, реже Hg, Cu, Zn, 22 — с повышенными содержаниями Hg, Ge, As, Mo, Sb, 23 — с повышенными содержаниями Ag, Mo, W, Ge, Pb, реже As, Cu, Zn, Li, Rb, Cs; 24 — границы металлогенических зон [20].

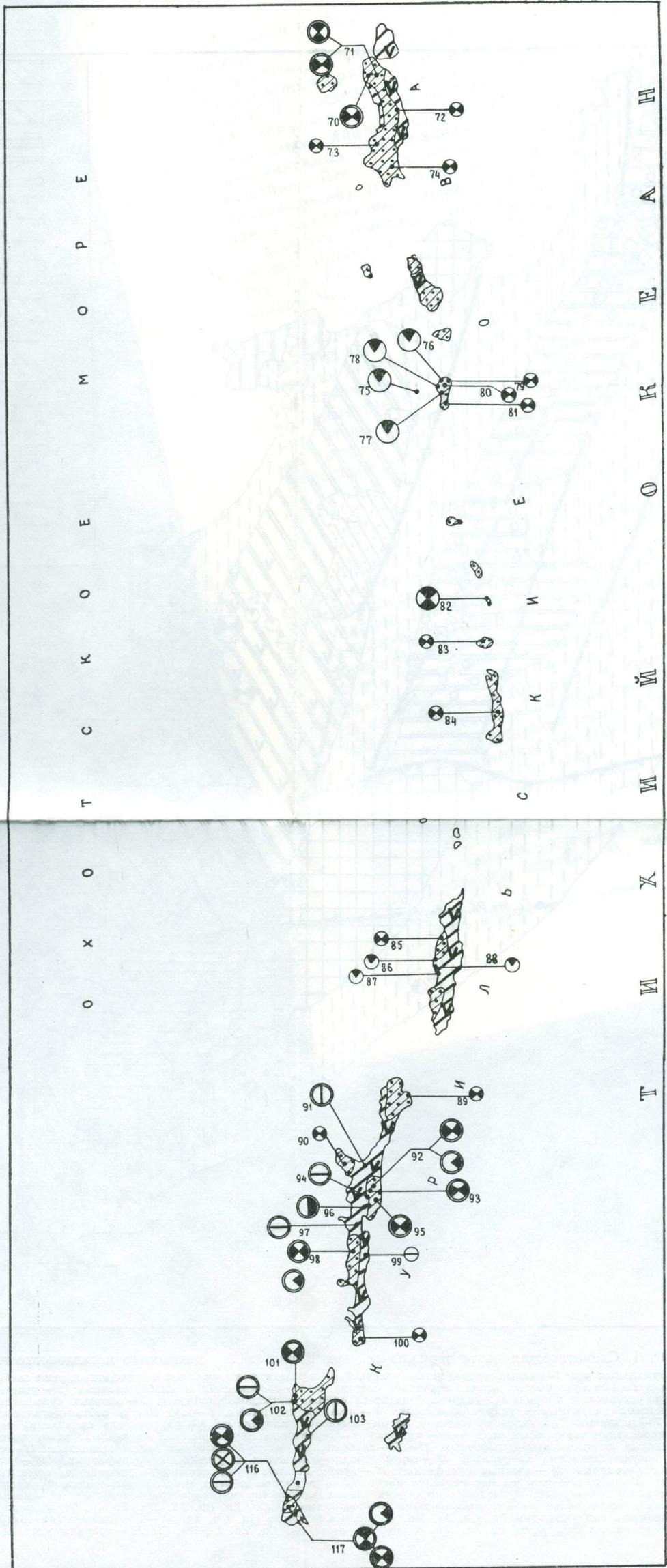


Рис. 2. Схематическая карта термальных вод Курильских островов (с данными о металлоносности).

Условные обозначения те же, что на рис. 1.

Таблица 1

**Обобщенные данные о содержании металлов в кислых
сероводородно-углекислых, углекислых и реже азотных хлоридных
термах Курило-Камчатской области**

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	3 (24)	50	0,005 (0,0008)	0,01 (0,006)
Cu	41 (24)	85	0,2 (0,07)	2 (1,5)
Cd	3 (24)	30	0,004 (0,01)	0,009 (0,09)
Zn	42 (24)	90	3,8 (2,1)	10 (8,8)
Ge	3 (24)	30	0,0005 (0,002)	0,001 (0,015)
Pb	29 (24)	100	0,3 (0,3)	1,1 (1,6)
Ga	(24)	20	(0,009)	(0,07)
As	54 (24)	75	2,6 (0,8)	25 (6,3)
Sb	9 (24)	25	0,04	0,2
Ti	11 (24)	75	1,3 (0,2)	5,5 (37,5)
V	(24)	90	(0,6)	(7,5)
Cr	(24)	25	(0,02)	(0,2)
Mn	42 (24)	95	9 (7,5)	25,8 (24,8)
Fe ²⁺	59	85	222	774
Fe ³⁺	63	90	84	1548
Co	1 (24)	10	(0,01)	0,2 (0,1)
Ni	1 (24)	10	(0,01)	0,3 (0,3)
Mo	5 (24)	45	0,003 (0,002)	0,01 (0,03)
Li	37 (24)	75	1,5 (0,07)	10 (0,4)
Rb	13	95	0,2	1,6
Cs	11	85	0,06	0,45
Be	(24)	85	0,004	0,03
Sr	21 (24)	75	0,4 (0,6)	3 (5,2)
Ba	(24)	60	(0,2)	8,6
Sc	(24)	75	(0,07)	0,3
Zr	(24)	20	(0,04)	0,7
Y	(24)	65	(0,07)	0,3
Yb	(24)	65	(0,006)	0,02
Al ³⁺	63	100	386	2951

терм, как видно из формул их металлоносности, приведенных в табл. 2, преобладают (мг/кг): Mn — до 10—25, As — до 1—2 (редко до 25), Zn — до 5—10, реже Ti — до 5—10 (и более), V — до 5—7, Li — 5—10. Следует отметить, что столь высокие концентрации Ti и V в этих термах установлены лишь на вулкане Эбеко (70—71). Таким образом, Mn, As, Zn, Ti, V, Li образуют ассоциацию преобладающих металлов в микрокомпонентном составе кислых хлоридных терм; их минимальные концентрации обычно более 1 мг/кг. Вместе с тем нужно подчеркнуть, что в относительно высоких концентрациях в них содержатся и многие другие металлы (мг/кг): Pb — 0,1—1, Cu — от 0,1—0,2 до 1—2, Be — до 0,03, Sc — до 0,3, Y — до 0,3 и др. Имеются также данные о присутствии золота (до 0,003 мг/кг), серебра (до 0,012 мг/кг), германия (до 0,02 мг/кг) [11]. Повышенными содержаниями металлов характеризуются кислые конденсаты фумарол хлоридного состава. Так, по данным И. А. Меняйлова и Л. Н. Никитиной [19], в конденсатах с вулкана Эбеко содержания свинца достигают 0,2—12 мг/кг, а цинка 1—4,8 мг/кг. В конденсате с вулкана Мутновского Н. Х. Айдиньян определена ртуть в количестве 0,072 мг/кг [3].

Таким образом, для данных терм характерно наличие разнообразных металлов, большая часть которых (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Ti, Sc и др.), очевидно, заимствована из вмещающих горных пород, претерпевающих интенсивные гидротермальные изменения (аргиллитизация, опалитизация и т. п.). Эти термы обладают высокой растворяющей способностью, вследствие чего распространность металлов в них в целом соответствует таковой в осадочно-вулканогенных и вулканогенных породах, подвергающихся гидротермальному метасоматозу в зонах разгрузки данных терм*. В минеральных новообразованиях, в очагах их разгрузки, иногда устанавливаются в высоких концентрациях мышьяк (до 0,8%), свинец (до 2%) и сурьма (до 0,3%).

Кислые сульфатные сероводородно-углекислые и углекислые термы широко распространены на фумарольных полях действующих вулканов Камчатки и Курильских островов. На Камчатке металлоносность этих терм довольно хорошо изучена в кальдере Узон, на вулканах Большой Семячик, Камбальный, Кошелева и др.; на Курильских островах — на вулканах Эбеко, Мачеха, Баранского, Буревестник, Менделеева, Головнина и др. Минерализация этих терм колеблется обычно в пределах 1—3 г/кг (реже до 10—20 г/кг), величина pH — в пределах 1,0—4,5. В газовом составе резко преобладает CO₂. Содержание сероводорода иногда достигает 10 об. %. Так же как и для кислых хлоридных терм, для этих терм характерны весьма высокие кон-

* Вместе с тем такие металлы, как мышьяк, ртуть, отклоняются от этой закономерности, что, вероятно, указывает на их более глубинное происхождение.

Таблица 2

Формулы металлоносности микрокомпонентного состава кислых хлоридных терм

Источники, их номер на рис. 1 и 2	Формула металлоносности
Кальдера Узон, 28	$\frac{(\text{As}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Zn}, \text{Pb}, \text{Cs})^2}{\text{Ag}, \text{As}, \text{Cs}}$
Вулкан Мутновский, 59	$\frac{(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1}{\text{Fe}, \text{Al}}$
Вулкан Эбеко, 71	$\frac{(\text{Zn}, \text{As}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Li}, \text{Sr}, \text{Al})^1 (\text{Cu}, \text{Pb}, \text{Cr}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Rb}, \text{Ba}, \text{Sc}, \text{Zr}, \text{Y})^2}{\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Pb}, \text{Ga}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mo}, \text{Li}, \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Sc}, \text{Zr}, \text{Y}, \text{Yb}, \text{Al}}$
Янкические, 82	$\frac{(\text{Sr})^1 (\text{Cu}, \text{Mn})^2}{\text{Sr}}$
Нижнедокторские, 105	$\frac{(\text{Zn}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{As}, \text{Li}, \text{Sr}, \text{Ba})^2}{\text{Cd}, \text{Zn}, \text{Be}, \text{Sr}, \text{Yb}}$
Нижнеменделеевские, 107	$\frac{(\text{Zn}, \text{As}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Pb}, \text{V}, \text{Li}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Sr}, \text{Sc})^2}{\text{Cu}, \text{Cd}, \text{Zn}, \text{Ge}, \text{Pb}, \text{As}, \text{Sb}, \text{Mn}, \text{Be}, \text{Sc}, \text{Y}}$
Верхнедокторские, 108	$\frac{(\text{Zn}, \text{As}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Pb}, \text{Li}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Sr})^2}{\text{Cu}, \text{Cd}, \text{Zn}, \text{Ge}, \text{Pb}, \text{As}, \text{Sb}, \text{Mn}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Be}, \text{Sc}, \text{Y}, \text{Yb}}$

центрации железа (до 300—500 мг/кг, реже до 2000 мг/кг) и алюминия (до 100—200 мг/кг, реже до 500—1000 мг/кг). Эти металлы часто входят в макрокомпонентный состав. Преобладающими металлами микрокомпонентного состава наиболее часто являются Mn, As, Zn, Li, содержащиеся обычно в концентрациях от 0,5 до 2—3 мг/кг (иногда более). В довольно высоких концентрациях в кислых сульфатных термах содержатся также (мг/кг): Cu — до 0,3—0,5, Ti — до 0,5 (иногда более), V — до 0,4, Co — до 0,2, Ni — до 0,3, Ba — до 0,7, Mo — до 0,3, Y — до 0,2, Ag — до 0,01. Следует отметить, что содержания большинства этих металлов, как правило, ниже, чем в кислых хлоридных термах. На порядок и более ниже содержания рубидия (до 0,3 мг/кг) и цезия (до 0,07 мг/кг). Отмеченные особенности отражены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

**Обобщенные данные о содержании металлов
в кислых сероводородно-углекислых
и углекислых сульфатных термах Курило-Камчатской области**

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(50)	65	(0,001)	(0,01)
Cu	44 (50)	85	0,04 (0,04)	0,5 (0,3)
Sn	(50)	10	(0,0004)	(0,01)
Zn	36 (50)	75	0,6 (0,2)	8 (2,2)
Ge	(50)	10	(0,0004)	(0,007)
Pb	2 (50)	55	(0,02)	0,04 (2)
Ga	(50)	50	(0,007)	(0,05)
As	58 (50)	30	0,4 (0,03)	9,3 (1,2)
Ti	5 (50)	65	0,1 (0,1)	0,5 (2,4)
V	(50)	90	(0,07)	(0,4)
Cr	(50)	30	(0,004)	(0,2)
Mn	46 (50)	90	1,5 (1,6)	20 (10,9)
Fe ²⁺	63	50	43,4	774,2
Fe ³⁺	65	95	65,2	1548,2
Co	(50)	40	(0,01)	(0,2)
Ni	(50)	40	(0,009)	(0,3)
Mo	16 (50)	45	0,005 (0,007)	0,05 (0,3)
Li	55 (50)	40	0,2 (0,09)	6,8 (0,5)
Rb	12	75	0,01	0,3
Cs	12	65	0,01	0,07
Be	(50)	40	(0,001)	(0,04)
Sr	42 (50)	75	0,2 (0,1)	1 (1,6)
Ba	(50)	60	(0,04)	(0,7)
Sc	(50)	55	(0,009)	(0,1)
Zr	(50)	40	(0,007)	(0,08)
Y	(50)	40	(0,02)	(0,2)
Yb	(50)	30	(0,0005)	(0,005)
Al	64	100	96,8	994,2

Таблица 4

**Формулы металлоносности микрокомпонентного состава
кислых сульфатных терм**

Источники, их номер на рис. 1 и 2	Формула металлоносности
Заповедные ключи, 25	$\frac{(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1}{—}$
Кальдера Узон, 28	$\frac{(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Zn}, \text{As})^2}{\text{Fe}, \text{Al}}$
Кихпынычские, 30	$\frac{(\text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Cu})^2}{\text{Cu}}$
Верхнесемячинские, 32	$\frac{(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Sr}, \text{Ba})^2}{—}$
Верхнедзензурские, 41	$\frac{(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{As}, \text{Sr})^2}{\text{As}, \text{Sr}}$
Верхнекошелевские, 68	$\frac{(\text{Mn}, \text{Fe})^1}{\text{Mn}}$
Вулкан Эбеко, 71	$\frac{(\text{Zn}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Pb}, \text{As}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Y})^2}{\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Ge}, \text{Pb}, \text{Ga}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mo}, \text{Cs}, \text{Be}, \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Sc}, \text{Zr}, \text{Y}, \text{Yb}, \text{Al}}$
Кунтоминтарские, 81	$\frac{(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Sr})^2}{\text{Sr}}$
Вулкан Баранский, 92	$\frac{(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Cu}, \text{Y})^2}{\text{Cu}, \text{Mn}, \text{Sr}, \text{Y}, \text{Yb}, \text{Sn}}$

Источники, их номер на рис. 1 и 2	Формула металлоносности
Глухой, 93	$(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mo}, \text{Al})^2 (\text{Sr}, \text{Ba})^3$ Ge, Cr, Mo
Кальдера Мачеха, 95	$(\text{As}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1$ As, Mn, Fe, Al
Вулкан Буревестник, 98	$(\text{Mn}, \text{Sr}, \text{Al})^1 (\text{Li})^2$ Mn, Sr
Вулкан Руруй, 101	$(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Zn})^2$ Sn, Mn, Ba
Верхнеменделеевские, 109	$(\text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni})^2$ Cu, Ga, Ti, V, Fe, Co, Ni, Sc, Al
Восточное фумарольное поле вулкана Менделеева, 110	$(\text{As}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Zn}, \text{V}, \text{Mn})^2$ Cu, Zn, As, V
Юго-Восточное фумарольное поле вулкана Менделеева, 112	$(\text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Cd}, \text{Zn}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Mn}, \text{Sr})^2$ Ag, Cd, Ga, Ti, V, Be, Fe, Ba, Sr, Sc, Zr
Северо-Западное фумарольное поле вулкана Менделеева, 113	$(\text{As}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Cu}, \text{Li}, \text{Sr}, \text{Ba})^2$ Cu, As, Mn, Ba
Алехинские, 116	$(\text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Zn}, \text{Mn}, \text{Sr})^2$ Pb, Rb, Be, Ba, Zn
Вулкан Головнина, 117	$(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Al})^1 (\text{Zn}, \text{As}, \text{Sr})^2$ Ag, Cu, Zn, Sn, Ga, As, V, Mn, Co, Ba, Sc, Zn

Представляют интерес данные И. А. Меняйлова и Л. П. Никитиной [19] об очень высоких содержаниях свинца в конденсатах фумарольных газов Камбального хребта на юге Камчатки. Конденсаты имеют сульфатный аммонийный состав и низкую минерализацию (до 0,5 г/кг). Концентрация свинца в них достигает 32 мг/кг. Очень высокие содержания меди (до 32 мг/кг) и цинка (до 34 мг/кг) определены в кислых поровых растворах сульфатного состава из гидротермальных глин, содержащих сульфидную минерализацию, на Восточно-Паужетском и Северо-Камбальном термальных полях на Камчатке [24]. Такие высокие содержания цинка и меди в поровых растворах объясняются, по-видимому, выщелачиванием их из сульфидов. Кроме того, в отдельных пробах поровых растворов из зоны сульфидации установлены повышенные концентрации молибдена (до 1,7 мг/кг), кадмия (до 2 мг/кг), никеля (до 2 мг/кг).

В целом металлоносность кислых сульфатных терм сходна с металлоносностью кислых хлоридных терм. Некоторое отличие заключается в более низких концентрациях Ti, V, Sc, Y и других металлов. Условия накопления металлов в кислых сульфатных термах аналогичны таковым для кислых хлоридных терм. В минеральных отложениях, выпадающих из кислых сульфатных терм, в ряде случаев отмечаются высокие концентрации Fe, As, Zn, Ti, V, Pb, Cu, Hg.

Группа слабокислых и слабощелочных термальных вод

Сероводородно-углекислые, углекислые и азотно-углекислые хлоридные термы широко распространены на Камчатке и Курильских островах, в районах современного (и реже четвертичного) вулканизма. Минерализация этих терм обычно колеблется в пределах 2—10 г/кг (редко до 20—30 г/кг), величина pH меняется от 6—6,5 до 8—8,5. Характерными для них являются высокие содержания кремниевой (до 300 мг/кг и более) и борной (до 20—100 мг/кг, реже до 200 мг/кг) кислот. На выходах они имеют высокие (близкие к 100° С) температуры, а на глубинах (до 1000 м) температуры их повышаются до 200—250° С. В газовом составе резко преобладает CO₂, иногда с примесью H₂S (до 8%), N₂ (до 42%) и CH₄ (до 9%). Обобщенные данные о металлоносности этих терм приведены в табл. 5. В группу преобладающих металлов микрокомпонентного состава рассматриваемых терм входят Li, Sr, As, Mn, реже Fe, Al, Rb, Cs и др. (табл. 6). Концентрации этих металлов обычно колеблются от 0,3 до 2—5 мг/кг, концентрации же Li, Mn и Sr иногда достигают 20—30 мг/кг (источник Налычевский, 46). Обращают на себя внимание относительно высокие в них концентрации (мг/кг): Ag — до 0,01—0,2, Cu — до 0,07, Zn — до 0,1, Ge — до 0,02, Sb —

Таблица 5

**Обобщенные данные о содержании металлов
в сероводородно-углекислых, углекислых и азотно-
углекислых хлоридных термах Курило-Камчатской области**

Эле- менты	Количество определений	% обна- руже- ния	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	4 (22)	50	0,01 (0,002)	0,01 (0,2)
Cu	16 (22)	60	0,0002 (0,008)	0,06 (0,07)
Hg *	7	100	0,0005	0,01
Cd **	4 (22)	10	0,002	0,004
Zn	14 (22)	40	0,05	0,1
Ge	9 (22)	25	0,005 (0,003)	0,02 (0,008)
Pb	5 (22)	25	0,004 (0,004)	0,006 (0,05)
As	37	100	2	8
Sb ***	(25)	50	(0,15)	(0,7)
Ti	1 (22)	40	(0,02)	0,06 (0,2)
Mn	30 (22)	85	1 (0,3)	30 (2)
Fe	34	45	0,4	5,6
Mo	10 (22)	50	0,005 (0,004)	0,02 (0,02)
W **	4	75	0,004	0,01
Li	30 (22)	95	2,6 (1,7)	24 (5)
Rb	27	100	0,2	0,5
Cs	27	100	0,3	0,7
Sr	14 (22)	95	1,5 (2,6)	24 (19)
Ba	2 (22)	35	(0,07)	(0,6)
Al	6	100	4,5	13,3

П р и м е ч а н и е. Расчеты произведены по материалам:

* Н. Х. Айдиньян и др. [3]; ** Г. А. Головой [10]; *** С. И. Набоко [7].

Таблица 6

**Формулы металлоносности микрокомпонентного состава
сероводородно-углекислых, углекислых и азотно-углекислых хлоридных терм**

Источники, их номер на рис. 1 и 2	Формула металлоносности
Малые Киреун- ские, 10	$\frac{(As, Li)^2}{As}$
Большие Киреун- ские, 11	$\frac{(As, Li, Rb, Cs)^2 (Zn, Ge, Mo)^3}{Zn}$
Кальдера Узон, 28	$\frac{(As, Li)^1 (Pb, Sb, Mn, Cs, Al)^2}{Hg, Cu, Zn, Pb, As, Sb, Co, Li, Ni, Cs}$

Источники, их номер на рис. 1 и 2	Формула металлоносности
Гейзерные, 31	$\frac{(As, Li)^1 (Rb, Cs)^2}{Cu, As, Li, Rb}$
Академии наук, 35	$\frac{(As, Mn, Li, Sr)^2 (Ge)^3}{Ge}$
Пущинские, 36	$\frac{(Li, Sr)^1 (Ti, Fe, Rb)^2}{Ti, Fe, Li, Sr}$
Краеведческие, 40	$\frac{(As, Mn, Fe, Li, Sr)^1 (Rb, Cs)^2}{As, Mn, Fe, Li, Rb, Cs, Sr}$
Желтореченские, 44	$\frac{(As, Mn, Li)^1 (Rb, Cs)^2}{As, Mn, Li, Rb, Cs}$
Кехкүйские, 45	$\frac{(Li, Sr)^1 (Mn, Fe)^2}{Cu, Li, Sr}$
Налычевские, 46	$\frac{(As, Mn, Fe, Li, Sr)^1 (Rb, Cs)^2}{Ge, As, Mn, Fe, Li, Rb, Cs, Sr}$
Нижнекирзовские, 57	$\frac{(As)^1 (Mn, Fe)^2}{—}$
Паужетские, 65	$\frac{(As, Li)^1 (Rb, Cs)^2}{Cu, W}$
Иваною, 75	$\frac{(Mn)^1 (Ag, Sr)^2}{Ag, Cu, Mn}$
Башмачные, 76	$\frac{(Fe, Sr)^2 (Mn)^3}{—}$
Закатные, 77	$\frac{(Sr, Al)^2 (Ti, Mn)^3}{Ti}$
Дробные, 78	$\frac{(Mn, Sr, Al)^3 (Fe)^2}{Cu, Mn, Fe, Al}$
Горячий пляж, 104	$\frac{(As, Mn, Li)^2 (Rb, Cs, Sr)^2}{Ag, Cu, Zn, Ge, As, Mn, Rb}$
Столбовские, 114	$\frac{(Mn, Li, Rb, Sr, Ba)^2 (Ag, Cu, Zn, Ti, Rb, Cs, Zn)^3}{Ag, Cu, Zn, Ge, Sn, Pb, Ti, Ba, Zr}$
Третьяковские, 115	$\frac{(As, Mn, Li, Rb, Sr, Ba)^2 (Cu, Zn, Ti, Pb, Cs)^3}{Cu, Zn, Pb, Ti, Mo, Ba}$

до 0,7, Hg — до 0,01, W — до 0,01. Выявленные гидрохимические аномалии ряда металлов в этих водах (Cu, Ge, Ag, Mo и др.) отражены в табл. 6. О широком распространении некоторых из них свидетельствуют также часто повышенные их содержания в минеральных образованиях, отлагаемых источниками [7, 15 и др.]. Наиболее часто новообразования обогащены As, Sb, Mn, Ti, Sr, Ba, реже Pb, Zn, Be, Hg.

Сероводородно-углекислые и углекислые сульфатные термы имеют довольно ограниченное распространение в областях современного вулканизма, где выходы их приурочены к локальным участкам на действующих вулканах. Минерализация этих терм колеблется от 0,3 до 1,6 г/кг, содержание H_2SiO_3 150—370 мг/кг, pH от 6,2 до 8. Сведения о металлоносности данной группы термальных вод довольно ограничены (табл. 7, 8). Как видно из формул металлоносности микрокомпонентного состава вод (табл. 8), группу преобладающих металлов (без учета Fe и Al) образуют Mn, Sr, реже Pb, Zn, As. Концентрации их обычно находятся в пределах от 0,1 до 2—3 мг/кг. Следует отметить наличие контрастных аномалий по As, Pb, Zn, Sb, Cu и Ag в кальдерре Узон (28), по Zn, Ni, Pb, Ge, Ag и другим металлам — на вулкане Баранского (92). В составе осадков, выпадающих из вод рассматриваемого типа, в повышенных концентрациях содержатся марганец (до 1—10 вес. %), мышьяк (до 0,5 вес. %) и сурьма (до 0,07 вес. %).

Углекислые гидрокарбонатные термы в рассматриваемом регионе известны в областях четвертичного и современного вулканизма. Распространены они локально и приурочены к зонам разломов. Обычно это слабосоленые кремнистые (H_2SiO_3 — 100—200 мг/кг) термы с минерализацией 1—4 г/кг. Величина pH их меняется от 6,5 до 7,7. Имеющиеся немногочисленные данные о металлоносности этих терм обобщены в табл. 9 и 10. В ассоциацию преобладающих металлов (микрокомпонентного состава) входят Fe, Mn, Sr, реже Li, As, Ti в концентрациях обычно от 0,1 до 2—3 мг/кг. Обнаружены в них также Rb, Cs, Cu и другие металлы в количествах до 0,1 мг/кг. В единичных пробах установлены (мг/кг): Hg — 0,0002, Ge — 0,003, Ba — 0,03. Карбонатные осадки, выпавшие из вод Нескученских источников (102), характеризуются лишь несколько повышенными содержаниями марганца — до 1 %. Кроме того, в них обнаружены Ge, Ag, Cu, Sr, Ba.

Азотные хлоридные термы пользуются ограниченным распространением в рассматриваемом регионе и не имеют связи с вулканизмом. Выходы их приурочены к зонам разломов в вулканогенно-осадочных толщах кайнозойского возраста. Минерализация этих терм 1—6 г/кг, содержание H_2SiO_3 100—200 мг/кг. Величина pH колеблется в широких пределах — 6,3—9,1. В составе газов наряду с резко преобладающим азотом (80—100%) отмечаются примеси метана (до 13%) и углекислого газа (до

Таблица 7

**Обобщенные данные о содержании металлов
в сероводородно-углекислых и углекислых сульфатных термах
Курило-Камчатской области**

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(11)	65	(0,0004)	(0,002)
Cu	5 (11)	70	0,004 (0,002)	0,02 (0,01)
Cd	(11)	10	(0,05)	(0,5)
Zn	5 (11)	50	0,04 (0,2)	0,2 (1,4)
Ge	2 (11)	50	0,001 (0,0005)	0,002 (0,003)
Sn	(11)	20	(0,0006)	(0,004)
Pb	3 (11)	90	0,3 (0,005)	1 (0,02)
Ga	(11)	20	(0,0005)	(0,003)
As	15 (11)	50	0,2	2
Sb	(11)	5	—	(0,2)
Ti	(11)	35	(0,008)	(0,06)
V	(11)	20	(0,0007)	(0,006)
Cr	(11)	10	(0,0005)	(0,005)
Mn	12 (11)	80	0,8 (1,4)	2,4 (3,1)
Co	(11)	20	(0,0005)	(0,004)
Ni	(11)	20	(0,008)	(0,09)
Mo	(11)	45	(0,0005)	(0,002)
Li	14 (11)	60	0,04	0,1
Cs	3	65	0,003	0,01
Be *	(11)	10	(0,00002)	0,0002
Sr	11 (11)	100	0,2 (0,3)	1 (1,6)
Ba	(11)	90	(0,06)	(0,1)
Zr	(11)	20	(0,002)	(0,01)
Y	(11)	20	(0,002)	(0,01)
Yb	(11)	10	(0,00007)	(0,0007)

* По данным С. И. Набоко [7], в кальдере Узон максимальная концентрация 0,01 мг/кг.

Таблица 8

**Формулы металлоносности микрокомпонентного состава
сероводородно-углекислых и углекислых сульфатных терм**

Источники, их номер на рис. 1 и 2	Формула металлоносности
Кальдера Узон, 28	$\frac{(\text{As}, \text{Pb})^1 (\text{Zn}, \text{Sb}, \text{Mn})^2}{\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Zn}, \text{Pb}, \text{As}, \text{Sb}}$
Верхнесемячинские, 32	$\frac{(\text{As})^2}{\text{As}}$
Вулкан Баранский, 92	$\frac{(\text{Zn}, \text{Mn})^1 (\text{Pb}, \text{Ni}, \text{Sr}, \text{Ba})^3}{\text{Ag}, \text{Zn}, \text{Ge}, \text{Sn}, \text{Pb}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mo}, \text{Zn}, \text{Y}}$
Вулкан Буревестник, 98	$\frac{(\text{Mn}, \text{Fe})^1 (\text{Sr})^2}{\text{Mn}, \text{Sr}}$
Нескученские, 102	$\frac{(\text{Cd}, \text{Zn}, \text{Mn}, \text{Sr})^2 (\text{Cu}, \text{Pb}, \text{Ba}, \text{Y})^3}{\text{Cu}, \text{Cd}, \text{Zn}, \text{V}, \text{Co}, \text{Y}}$
Северо-Западное фумарольное поле вулкана Менделеева, 113	$\frac{(\text{Mn})^1 (\text{As}, \text{Sr}, \text{Ba})^2}{\text{Mn}, \text{Sr}}$
Вулкан Головнина, 117	$\frac{(\text{Mn})^1 (\text{As}, \text{Sr}, \text{Ba})^2}{\text{Sn}, \text{Pd}, \text{Ga}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Sr}}$

Таблица 9

**Обобщенные данные о содержании металлов
в углекислых гидрокарбонатных термах
Курило-Камчатской области**

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Cu	(5)	100	(0,03)	(0,05)
Hg	1	—	—	0,0002
Ge	(2)	—	—	(0,003)
As	7	85	0,4	2,5
Ti	(3)	100	(0,3)	(0,5)
V	(2)	—	—	(0,5)
Mn	3 (6)	75	0,03 (0,1)	0,09 (0,4)
Fe	9	55	0,4	1,8
Mo	(2)	—	—	(0,03)
Li *	9 (5)	100	0,1 (0,2)	0,4 (0,8)
Rb *	9	100	0,02	0,05
Cs *	9	100	0,003	0,005
Be	(1)	—	—	0,03
Sr	3 (4)	100	1,3 (0,4)	3,8 (0,9)
Ba	(1)	—	—	(0,03)

* Расчеты произведены по материалам Г. И. Арсановой [4].

Таблица 10

**Формулы металлоносности микрокомпонентного состава
углекислых гидрокарбонатных терм**

Источники, их номер на рис. 1 и 2	Формула металлоносности
Тымлатские, 1	$(\text{Ti}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Sr})^2 (\text{Cu}, \text{As}, \text{V}, \text{Mo}, \text{Li}, \text{Be}, \text{Ba})^3$ Mn
Оксинские, 14	$(\text{As})^1 (\text{Li}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Sr})^2$ As, Mn, Mo, Li
Кальдера Узон, 28	$(\text{Zn}, \text{As}, \text{Sb}, \text{Fe})^2 (\text{Pb}, \text{V}, \text{Mn})^3$ Zn, Pb, Sb
Карымские, 34	$(\text{Mn}, \text{Li})^2 (\text{As})^3$ Mn, Li
Ксудачинские, 62	$(\text{Cu}, \text{As}, \text{Li})^2 (\text{Mn}, \text{Sr})^3$ As
Курильские, 63	$(\text{Ti}, \text{V})^2 (\text{Cu}, \text{Sr})^3$ Cu, Ti, V
Многоозерный, 94	$(\text{Li}, \text{Sr})^2 (\text{Ge}, \text{Ti}, \text{Mn}, \text{Ba})^3$ Zn, Ge, Ba, Li
Дачные, 97	$(\text{Fe}, \text{Sr})^1 (\text{As}, \text{Mn}, \text{Li}, \text{Ba})^2$ Ge, As, Mn, Fe, Li, Sr, Ba
Нескученские, 102	$(\text{Mn}, \text{Fe})^1 (\text{Zn}, \text{Sn})^2$ Zn, Mn, Fe, Ba, Zr
Алехинские, 116	$(\text{Ge})^3$

5,8%). Сведения о металлоносности этих терм весьма ограничены и касаются главным образом азотных хлоридных терм Курильских островов (табл. 11, 12). Преобладающими металлами в термах (без учета Fe и Al) являются обычно Li, Sr, Mn, реже As. Они содержатся в концентрациях от 0,1 до 2—3 мг/кг. Имеются единичные данные (источник Таловый, 42) о довольно высоких содержаниях Rb (до 0,3 мг/кг) и Cs (до 0,26 мг/кг) [4]. Обнаруженные в этих термах Ag, Cu, Hg, Ge, Pb, Mo и другие металлы находятся в концентрациях до 0,1 мг/кг. Вместе с тем в отдельных водопунктах они образуют ряд четких аномалий.

Азотные сульфатные термы широко распространены на Камчатке, в районах четвертичного, а также современного вулканизма. Единичные источники этих вод известны и на Курильских островах (Алехинские, 116). Приурочены эти термы к крупным зонам новейших разломов. Температуры источников колеблются от 30—35 до 90—95° С. Максимальная температура в скважинах составляет 168° С (Большебанное месторождение, 51, скв. ГК-2, глуб. 190 м). Термы слабокислые и щелочные (рН 6,3—9,3) с минерализацией от 0,3—0,5 до 2,4—4,6 г/кг. Содержание

Таблица 11

**Обобщенные данные о содержании металлов
в азотных хлоридных термах Курило-Камчатской области**

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(6)	35	(0,0002)	(0,0007)
Cu	5 (6)	65	0,0002 (0,07)	0,0005 (0,3)
Hg	2	—	—	0,002
Zn	4 (6)	45	0,005	0,01
Ge	4 (6)	45	0,009 (0,0007)	0,017 (0,003)
Pb	(6)	35	(0,02)	(0,08)
Ga	(6)	35	(0,003)	(0,01)
As	5 (6)	50	0,07	0,5
Ti	(6)	85	(0,08)	(0,3)
Mn	5 (6)	70	0,05 (0,3)	1,2 (0,2)
Mo	3 (6)	50	0,001 (0,01)	0,005 (0,03)
Li	5 (6)	90	1,2 (0,4)	3,7 (1,7)
Rb	2	—	—	0,3
Cs	2	—	—	0,2
Sr	4 (6)	85	0,3 (0,7)	1,3 (3,5)
Ba	(6)	35	(0,01)	(9)?
Zr	(6)	35	(0,007)	(0,04)

Таблица 12

**Формулы металлоносности микрокомпонентного состава
азотных хлоридных терм**

Источники, их номера на рис. 1 и 2	Формула металлоносности
Нижнечажминские, 20	$(\text{Ge}, \text{As})^3$
Таловые, 42	$(\text{Mn}, \text{Li}, \text{Zr})^1 (\text{Cu}, \text{As}, \text{Rb}, \text{Cs})^2$
Рейдовские, 91	$\text{Cu}, \text{Ge}, \text{As}, \text{Mn}, \text{Li}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Zr}$
Добрый ключ, 103	$(\text{Mn}, \text{Li}, \text{Sr})^2 (\text{Zn}, \text{Ge}, \text{As}, \text{Ti})^3$
Устье руч. Кислого, 106	$\text{Zn}, \text{Ge}, \text{Mn}, \text{Sr}$
	$(\text{Pb}, \text{As}, \text{Ti}, \text{Li}, \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Zr})^3 (\text{Ge}, \text{Ga}, \text{Mo})^4$
	$\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Pb}, \text{Ga}, \text{Mo}, \text{Ba}, \text{Zr}$
	$(\text{As}, \text{Mn}, \text{Li})^2 (\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Pb}, \text{Ti}, \text{Ba}, \text{Sr})^3$
	$\text{Ag}, \text{Zn}, \text{As}, \text{Pb}, \text{Mn}, \text{Ba}$

в них HBO_2 обычно не превышает 20—30 мг/кг (реже до 50—70 мг/кг), H_2SiO_3 — до 100—300 мг/кг, фтора — до 1—3 мг/кг (реже до 4—10 мг/кг). Данные о металлоносности этих вод приведены в табл. 13 и 14. Они отражают неравномерную изучен-

Таблица 13

**Обобщенные данные о содержании металлов
в азотных сульфатных термах Курило-Камчатской области**

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	6 (6)	65	0,005	0,009
Cu	13 (6)	40	0,01 (0,02)	0,1 (0,1)
Hg *	14	100	0,001	0,004
Zn	13 (6)	55	0,02	0,1
Ge	50 (3)	80	0,003 (0,004)	0,01 (0,01)
Pb	53 (6)	90	0,008	0,04
Ga	(4)	100	(0,01)	(0,03)
As	68	100	0,4	2
Sb	1 (6)	—	—	0,4
Ti	(9)	70	(0,09)	(0,5)
Mn	5 (4)	80	0,9 (0,1)	3,6 (0,2)
Mo	57 (6)	100	0,01 (0,01)	0,03 (0,03)
W **	53	100	0,01	0,07
Li ***	121	100	0,4	1,6
Rb ****	74	100	0,03	0,1
Cs *****	74	100	0,04	0,17
Sr	4 (6)	90	0,4 (0,2)	1 (0,4)

Примечание. Расчеты произведены по материалам:

* Н. Х. Айдиньян и др. [3]; ** Г. А. Головой [11] и И. А. Клименко [16]; *** Г. И. Арсановой [4] и И. А. Клименко [16];
**** Г. И. Арсановой [4].

ность терм в отношении металлоносности. Наиболее полно охарактеризовано распределение в этих термах щелочных металлов, мышьяка и ртути. Кроме того, имеются довольно полные сведения о содержании ряда металлов в водах Паратунской гидротермальной системы (53—56) — Mo, As, W, Ge, Pb, Li [10, 16].

Как видно из формул металлоносности микрокомпонентного состава вод (без учета Fe и Al), приведенных в табл. 14, преобладающими металлами в этих термах являются обычно литий, мышьяк, реже стронций и марганец (в концентрациях более 0,1 мг/кг, иногда до 2—3 мг/кг). Постоянно в меньших концентрациях в них присутствуют (мг/кг): Mo — до 0,03, W — до 0,02—0,07, Pb — до 0,04, Hg — до 0,004, Rb — до 0,1, Cs — до 0,17. Следует отметить, кроме того, что повышенные содержания Cu — до 0,1 мг/кг, Zn — до 0,1 мг/кг, Ag — 0,009 мг/кг. По-видимому, широко распространена в этих термах сурьма, которая установлена в отдельных пунктах в количествах 0,15—0,45 мг/кг, но, в силу слабой чувствительности аналитических методов по определению этого элемента, изучена она плохо. О широком распространении сурьмы свидетельствуют также повышенные ее содержания в современных минералообразованиях ряда источ-

Таблица 14

Формулы металлоносности микрокомпонентного состава азотных сульфатных терм

Источники, их номер на рис. 1 и 2	Формула металлоносности
Дранкинские, 2	$\frac{(\text{As}, \text{Mo})^3}{\text{As}, \text{Mo}}$
Паланские, 3	$\frac{(\text{Li}, \text{Sr})^2 (\text{Mo})^3}{\text{Mo}, \text{Sr}}$
Панкарские, 4	$\frac{(\text{Sr})^2}{—}$
Коркваемские, 5	$\frac{(\text{Ge})^3}{\text{Ge}}$
Русаковские, 6	$\frac{(\text{Cu}, \text{Ti}, \text{Mn}, \text{Sr})^2 (\text{Ga}, \text{Mo})^3}{\text{Ge}, \text{Ga}, \text{Mo}}$
Африканские, 8	$\frac{(\text{Ti}, \text{Mo?})^2}{\text{Ti}, \text{Mo?}}$
Двухъюрточные, 9	$\frac{(\text{As})^1 (\text{Li})^2}{\text{As}}$
Апапельские, 13	$\frac{(\text{As})^1}{\text{Hg}, \text{Ge}, \text{As}, \text{Mo}}$
Промежуточные, 15	$\frac{(\text{Cu}, \text{Ti}, \text{Sr})^3 (\text{Mn}, \text{Mo})^4}{—}$
Малкинские, 49	$\frac{(\text{As}, \text{Li})^2 (\text{Zn}, \text{Pb}, \text{Mo}, \text{W}, \text{Rb}, \text{Cs})^3}{\text{Zn}, \text{Mo}, \text{W}}$
Начикинские, 50	$\frac{(\text{As}, \text{Li})^2 (\text{Zn}, \text{Pb}, \text{Mo}, \text{W}, \text{Rb}, \text{Cs})^3}{\text{Zn}, \text{Pb}, \text{As}, \text{Mo}, \text{W}, \text{Rb}, \text{Cs}}$
Большебанные, 51	$\frac{(\text{Cu}, \text{As}, \text{Mn}, \text{Li}, \text{Cs}, \text{Sr})^2 (\text{Pb}, \text{Mo}, \text{W}, \text{Rb})^3}{\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Pb}, \text{Mo}, \text{W}, \text{Li}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Sr}}$
Нижнепаратурные, 53	$\frac{(\text{As}, \text{Li})^1 (\text{Pb}, \text{Mo}, \text{W}, \text{Rb})^3}{\text{Ag}, \text{Ge}, \text{Pb}, \text{Mo}, \text{W}}$
Среднепаратурные, 54	$\frac{(\text{As}, \text{Li})^2 (\text{Zn}, \text{Pb}, \text{Mo}, \text{W}, \text{Rb})^3}{\text{Ag}, \text{Ge}, \text{Pb}, \text{As}, \text{Mo}, \text{W}}$
Верхнепаратурные, 55	$\frac{(\text{As}, \text{Li})^2 (\text{Ge}, \text{Mo}, \text{W})^3}{\text{Ge}, \text{Mo}, \text{W}}$
Карымшинские, 56	$\frac{(\text{As})^1 (\text{Li})^2}{\text{Ge}, \text{As}, \text{Mo}, \text{W}, \text{Li}}$
Озерновские, 64	$\frac{(\text{As}, \text{Li})^2}{—}$
Марганцевый, 111	$\frac{(\text{Mn})^1 (\text{Zn}, \text{As}, \text{Sr}, \text{Ba})^3}{\text{Ag}, \text{Mn}}$
Алехинские, 116	$\frac{(\text{Mn}, \text{Sr})^2 (\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Sn}, \text{Pb}, \text{Ga}, \text{As}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Li}, \text{Rb}, \text{Sc}, \text{Zr}, \text{Y})^3}{\text{Sn}, \text{Pb}, \text{Ga}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{Sr}}$

ников [22]. В очагах разгрузки ртути с содержащими источниками Двухъюрточных (9) и Апапельских (13) наблюдается также обогащение минеральных новообразований ртутью, сурьмой и мышьяком. Не исключено наличие в термах данного типа и золота. Так, Г. А. Головой [11] отмечается присутствие золота в них в количестве до 0,001 мг/кг.

Изучение ряда металлов в водах Паратунской гидротермальной системы [16] показало, что содержания их здесь характеризуются постоянством и устойчивостью во времени. В этих водах наиболее часто встречаются Ag, Pb, As, Mo, W (реже Li, Rb, Cs, Zn, Cu), в то время как в термах этого же типа в пределах Центральной Камчатки характерными металлами являются Hg, Ge, As, Sb, Mo. Перечисленные металлы во многих водопунктах содержатся в аномальных концентрациях (по сравнению со средними для данного типа вод в регионе).

Азотно-метановые и метановые хлоридные (реже гидрокарбонатные) термы широко распространены в пределах Курило-Камчатской области. Они приурочены к артезианским (и адартезианским) бассейнам. Минерализация их колеблется обычно в пределах 2—25 г/кг. Имеются отрывочные данные о содержаниях в них брома (до 10—40 мг/кг), йода (до 10—20 мг/кг), HBO₂ (до 10—20 мг/кг). Сведения о металлоносности этих терм практически отсутствуют. Определения металлов производились только в двух пробах из источников. Горячие ключи (96) на о-ве Итуруп. Химическим методом определялись Cu, Zn, As, Mn (не были обнаружены), Sr (менее 0,05 мг/кг), Li (0,05—0,07 мг/кг), Fe (до 0,5 мг/кг). Спектральным методом (на 45 элементов) обнаружены лишь Mn (до 0,016 мг/кг), Cu (до 0,001 мг/кг), Ti (до 0,02 мг/кг), Ba (менее 0,2 мг/кг). Как видно из этих данных, концентрации металлов в водах очень незначительные. Остальные металлы не были обнаружены.

Приведенные выше данные показывают, что разные металлы в разных типах гидротерм характеризуются весьма различной степенью изученности, часто еще недостаточной для выявления региональных закономерностей их распространения в гидротермах. Сравнительно хорошо изучены в термах рассматриваемого региона Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Pb, As, Ge, Mo, Li, Rb, Cs, Sr, Ag, менее изучены Ti, V, Ni, Cr, Co, Ga, W, Be, Ba, Cd. Ограничены сведения о распределении в термах Sc, Zr, Y, Yb, Sn, Sb. Единичные определения имеются для золота, которое обнаружено только в кислых хлоридных термах вулкана Эбеко (71) в количестве 0,003 мг/кг и в щелочных сульфатных азотных термах в количестве 0,001 мг/кг [11]. Вместе с тем, несмотря на различную степень изученности, часто довольно низкую, имеющиеся данные позволяют все же осветить (достаточно обоснованно) некоторые важные стороны этой многогранной проблемы.

Во-первых, для каждого типа термальных вод характерен ряд металлов, обнаруживаемых обычно в пределах одного ма-

тематического порядка. Так, например, в кислых гидротермах в количествах более 1 мг/кг часто присутствуют Fe, Al, Mn, реже другие металлы, в количествах 0,1—1 мг/кг — As, Zn, Sr, иногда Ti, V, Pb, Li и др.; в слабокислых и слабощелочных углекислых хлоридных термах в количествах более 1 мг/кг присутствуют Li, Sr, Mn, часто As, а в количествах 0,1—1 мг/кг — Rb, Cs, реже другие металлы и т. д. Такая количественная характеристика наличия металлов, в зависимости от их изученности в термальных источниках, показана в числите дроби формул металлоносности микрокомпонентного состава для каждого источника в табл. 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14.

Во-вторых, достаточно контрастно проявляется целый ряд гидрохимических аномалий по различным металлам относительно их средних концентраций для каждого типа вод в регионе. Такие аномалии показаны в знаменателе дроби формул металлоносности в табл. 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14.

В-третьих, как показывает фактический материал, к различным типам термальных вод приурочены определенные ассоциации металлов, которые постоянно присутствуют в них в определенном количественном интервале или находятся в аномальных (относительно средних) количествах. Это обстоятельство позволяет наметить в регионе ряд гидроминерагенических зон, т. е. территорий, характеризующихся сходными условиями распространения в термальных водах различных металлов [5, 6]. Намечаются четыре гидроминерагенические зоны, пространственно совпадающие с выделенными провинциями термальных вод (рис. 1, 2).

Первая гидроминерагеническая зона характеризуется очень широкой ассоциацией металлов (Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Pb, Hg, As, Ti, V, Be, Li, Rb, Cs, Mo, Ag, Sc, Y и др.), содержащихся в повышенных концентрациях в кислых хлоридных и сульфатных термах. Примерно в равных концентрациях в этих термах находятся Cu, Ge, As, Mn, Fe, Al, Mo. Относительно более высокие концентрации в кислых хлоридных термах (по сравнению с кислыми сульфатными) имеют Hg, Cd, Zn, Pb, Ti, V, Rb, Cs, Sr, Ba, Sc, Y, Yb. В целом первой гидроминерагенической зоне свойственны часто резко повышенные содержания в термах Cu, Zn, Pb, As, Mn, Fe, Ti, V (реже Hg, Mo, Li, Rb, Cs). Эта зона имеет локальное распространение, будучи приурочена к очагам проявления современного вулканизма.

Вторая гидроминерагеническая зона пространственно совпадает с провинцией хлоридных сероводородно-углекислых, углекислых и азотно-углекислых терм и характеризуется часто повышенными содержаниями Ag, Ge, As, Mn, Li, Rb, Cs, Sr (реже Hg, Cu, Zn). Причем содержания Ag, As, Li, Rb, Ge превышают таковые для кислых терм.

Третья гидроминерагеническая зона приурочена к провинции преимущественного распространения суль-

фатных азотных, реже хлоридных и гидрокарбонатных углекислых терм. Она располагается в пределах Срединного хребта Камчатки и характеризуется наиболее часто повышенными содержаниями Hg, Ge, As, Mo и, судя по минеральным новообразованиям, Sb.

Четвертая гидроминерагеническая зона выделяется в пределах Паратунско-Начикинской провинции распространения сульфатных азотных терм, для которых характерны Ag, Ge, Pb, As, Mo, W (реже Li, Rb, Cs, Cu, Zn). Эта зона близка к третьей, но ее отличает постоянное присутствие в водах серебра и вольфрама, что объясняется скорее всего большей изученностью этих металлов в термах данного района.

Следует отметить, что высокие содержания ряда металлов характерны для всех типов термальных вод Курило-Камчатской области, изученных в отношении металлоносности. К таким металлам относятся Hg, As, Cu, Mp. Это, по-видимому, объясняется металлогенической специализацией региона. Наиболее высокими содержаниями редких щелочей (Li, Rb, Cs) по отношению к другим типам терм обладают хлоридные (как кислые, так и щелочные) термы. В сульфатных азотных термах, как правило, в более высоких концентрациях содержатся Mo, Ge, W.

Сопоставление выделенных гидроминерагенических зон в пределах Курило-Камчатской области с металлогеническими зонами региона [20] наряду с некоторой общностью тех и других показывает и ряд существенных расхождений в их расположении (рис. 1, 2). Так, первая и вторая гидроминерагенические зоны, характеризующиеся высокими концентрациями в термальных водах Ag, Hg, Cu, Zn, Pb, Ge, As, Mo, в пределах Курильских островов и юга Камчатки совпадают с металлогенической зоной, для которой характерны проявления Pb, Zn, Cu, Au, Ag, Hg. Кроме того, повышенные концентрации в термальных водах As, Mo, Ge также могут свидетельствовать о наличии в этой металлогенической зоне указанной рудной минерализации. Это подтверждается, например, обнаружением реальгар-аурипигментного рудопроявления на о-ве Парамушир (месторождение Серное Кольцо), молибденового рудопроявления на серном месторождении Новое (о-в Итуруп) и др. Обращает на себя внимание тот факт, что первая и вторая гидроминерагенические зоны протягиваются в пределы Восточной Камчатки, в то время как вышеупомянутая металлогеническая зона захватывает лишь восточную часть Южной Камчатки. По-видимому, она продолжается дальше на север, захватывая районы современной вулканической деятельности, где также установлена ртутно-сурьмяно-мышьяковая и полиметаллическая минерализация (кальдера Узон и др.).

Третья гидроминерагеническая зона, характеризующаяся повышенными содержаниями в термальных водах Hg, Cu, Zn, Ge, As, Mo, Sb, в целом совпадает с металлогенической зоной с про-

явлениеми Mo, Pb, Zn, Au, As, Sb. Гидрогоеохимические данные, а также результаты изучения минеральных новообразований указывают на возможность наличия здесь ртутно-медной и германиевой минерализации. Следует отметить, что рудопроявления меди и ртути здесь уже известны [8]. Кроме того, гидрогоеохимические данные свидетельствуют о том, что восточная граница вышеуказанной металлогенической зоны, вероятно, может быть значительно отнесена на восток. В пределы этой металлогенической зоны, тяготеющей в целом к Срединному хребту, по-видимому, могут быть включены районы Киреунских (10, 11) и Двухъюрточных (9) источников, в минеральных новообразованиях которых отмечается ртутно-сурьмяная минерализация [3, 15, 22].

В пределах четвертой гидроминерагенической зоны, располагающейся в пределах Паратунско-Начикинского района, судя по ассоциациям металлов в термах, рудная минерализация, вероятно, сходна с минерализацией металлогенической зоны Срединного хребта. Наблюдаемые здесь повышенные содержания вольфрама в термах пока не фиксируются соответствующими рудопроявлениями. Не исключена возможность, как это отмечено выше, что специфика четвертой гидроминерагенической зоны — наличие повышенных содержаний вольфрама в термах — обусловлена более высокой изученностью вольфрама в термах этой зоны по сравнению с другими районами Камчатки и Курил.

Гидротермами Курил и Камчатки выносится большое количество разнообразных металлов, что обусловлено часто резко повышенными их концентрациями в термах и значительными дебитами источников (десятки, а иногда и сотни метров в секунду). Обращает на себя внимание вынос значительных количеств железа, алюминия, марганца и мышьяка реками и ручьями, дрениирующими фумарольные поля действующих вулканов Курильских островов, на которых происходит интенсивная разгрузка кислых термальных вод хлоридного и сульфатного состава. Так, по подсчетам С. С. Сидорова [27, 28], руч. Юрьевым с вулкана Владавица на о-ве Парамушир ежесуточно выносится 35 т железа, 84 т алюминия и 100 кг мышьяка, а, по подсчетам К. К. Зеленова [12], р. Грязной из кальдеры Мачеха на о-ве Итуруп ежесуточный вынос железа составляет 10 т, алюминия — 7 т. Довольно значительные количества металлов выносятся также с вулкана Менделеева. Ручей Кислый, дренирующий Северо-Восточное поле вулкана Менделеева, в сутки выносит до 6,5 т железа, до 200 кг алюминия, до 30 кг марганца и 0,6 кг мышьяка.

Большое количество ценных металлов выносится также слабокислыми и слабощелочными термами различного состава. Так, если исходить из реально возможных расходов гидротермальных систем, таких как Паужетская или Горячий пляж [10], то вынос ими в сутки мышьяка может составить 25—30 кг, мар-

ганца — до 14 кг. Все эти данные показывают, что термальные воды Курило-Камчатской области во многих случаях могут рассматриваться как «жидкие руды» и являться сырьем для получения целого ряда ценных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьев В. В. О природе углекислых мышьяковистых вод и их рудообразующей деятельности. — В кн.: Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М., 1960, с. 80—103.
2. Аверьев В. В., Вакин Е. А. Термальные поля вулканического массива Большой Семячин. — «Бюл. вулканол. станций», 1966, № 42, с. 3—16.
3. Айдиньян Н. Х., Озерова Н. А., Унанова О. Г. Ртуть в современных гидротермах. — В кн.: очерки геохимии ртути, молибдена, серы в гидротермальном процессе. М., «Наука», 1970, с. 9—48.
4. Арсанова Г. И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей (Камчатки и Курильских островов). Новосибирск, «Наука», 1974. 111 с.
5. Басков Е. А., Суриков С. Н. Металлоносность термальных вод Тихоокеанского подвижного пояса в связи с региональными прогнозами эндогенных полезных ископаемых. — В кн.: Основы научного прогноза рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., 1971, с. 66—68.
6. Басков Е. А., Суриков С. Н. Гидротермы Тихоокеанского сегмента Земли. М., «Недра», 1975. 172 с.
7. Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. Ред. С. И. Набоко. М., «Недра», 1974. 262 с.
8. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Камчатки. М., Гостоптехиздат, 1961. 344 с. Авт.: М. Б. Белова, В. Г. Васильев, Г. М. Власов и др.
9. Геологическое строение СССР. Т. 4. М., «Недра», 1968. 503 с.
10. Гидрогеология СССР. Т. 29. Ред. Г. А. Голева. М., «Недра», 1972. 364 с.
11. Голева Г. А. Металлоносность гидротерм областей активного вулканизма. — В кн.: Современные минералообразующие растворы областей современного вулканизма. Новосибирск, «Наука», 1974, с. 77—81.
12. Зеленов К. К. Вулканы как источники рудообразующих компонентов осадочных толщ. М., «Наука», 1972. 214 с.
13. Зотов А. В. Современное образование некоторых марганцевых минералов на вулкане Менделеева на о. Кунашир. — «Зап. ВМО», 1968, вып. 3, с. 273—281.
14. Иванов В. В. Основные закономерности распространения и формирования термальных вод Дальнего Востока СССР. — В кн.: Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М., 1960, с. 171—262.
15. Кирсанова Т. П. Гидротермы Киреунской долины в Срединном хребте Камчатки. — В кн.: Вулканализм и глубины Земли. М., «Наука», 1971, с. 239—246.
16. Клименко И. А. Гидрогеохимические особенности Паратунской гидротермальной системы. — В кн.: Вопросы геохимии. М., 1973, с. 132—139 (Труды ВСЕГИНГЕО. Вып. 63).
17. Лебедев Л. М. Современные рудообразующие гидротермы. М., «Недра», 1975. 262 с.
18. Мархинин Е. К. Роль вулканализма в формировании земной коры. М., «Наука», 1967. 255 с.
19. Меняйлов И. А., Никитина Л. П. Цинк и свинец в газах и водах вулкана Эбеко и Паужетского месторождения. — В кн.: Современные минералообразующие растворы областей активного вулканализма. Новосибирск, «Наука», 1974, с. 103—110.
20. Металлогеническая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000. Л., 1971.

21. Муликовская Е. П., Толстыхин О. Н. О содержании герmania в воде некоторых источников Камчатки. — «Геохимия», 1958, № 4, с. 392—395.
22. Озерова Н. А., Айдиньян Н. Х., Добровольская М. Г. О современном образовании ртутной минерализации в Курило-Камчатской вулканической области. — В кн.: Вулканы и глубины Земли. М., «Наука», 1971, с. 293—299.
23. Основные типы гидрологических структур СССР. Л., 1974. 92 с. (Труды ВСЕГЕИ, нов. сер. Т. 229).
24. Пампуря В. Д., Новиков В. М. Геохимия поровых растворов из зон рудообразования современных вулканических областей (на примере Паужетской гидротермальной системы). — «Геохимия», 1975, № 4, с. 614—623.
25. Пийп Б. И. Термальные ключи Камчатки. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937. 268 с.
26. Серавимова Е. К. Особенности химического состава фумарольных газов Мутновского вулкана. — «Бюл. вулканол. станций», 1966, № 42, с. 56—65.
27. Сидоров С. С. Термальные воды Курильских островов. — В кн.: Современный вулканализм. Т. 1. М., «Наука», 1966, с. 211—218.
28. Сидоров С. С. Условия формирования и геохимические особенности весьма кислых термальных вод Курильских островов. — В кн.: Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока. М., «Наука», 1967, с. 80—88.

УДК 550.42 : 546 : 553.7 (479)

E. A. Басков, Г. И. Пустовалова

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД КАВКАЗА

Кавказ представляет собой сложнопостроенную горную страну, вытянутую в близширотном направлении. В его пределах выделяются следующие тектонические (и вместе с тем орографические) структуры: мегантиклинорий Большого Кавказа, Закавказский межгорный пояс, мегантиклинорий Малого Кавказа и Араксинский межгорный прогиб [12].

Мегантиклинорий Большого Кавказа — это грандиозное сложнопостроенное складчато-глыбовое сооружение протяженностью до 1200—1300 км при ширине до 100—200 км. В осевой части располагается антиклиниорий Главного хребта, сложенный в наиболее приподнятом блоке допалеозойскими и палеозойскими кристаллическими сланцами и гнейсами (подвергшимися гранитизации), а в опущенных блоках — в основном метаморфизованными толщами терригенных пород нижней юры. Северный склон мегантиклинория сложен преимущественно юрскими, меловыми и палеогеновыми (в западной части также каменноугольными и пермскими) терригенными, карбонатно-терригенными и реже карбонатными толщами умеренной мощности, смятыми в простые складки и в отдельных блоках (Лабино-

Малкинская зона) залегающими моноклинально. Южное крыло мегантиклиниория выполнено в основном мощными толщами осадочных (часто флишиодных) и вулканогенных пород юры, мела и палеогена, интенсивно складчатых и дислоцированных.

Закавказский межгорный пояс включает Рионский и Куринский межгорные прогибы и разделяющий их Дзирульский массив, в котором обнажаются метаморфические породы нижнего палеозоя — рифея, прорванные герцинскими гранитоидами. В основании осадочного чехла, развитого в основном в краевых частях массива, залегают довольно сильно дислоцированные вулканогенно-осадочные толщи нижней — средней юры, они перекрываются полого залегающими слабо дислоцированными терригенными и карбонатными образованиями мела, олигоцена и миоцена общей мощностью до 2—3 км. В Рионском прогибе мощность осадочного комплекса достигает 8—9 км. Отдельными скважинами здесь вскрыты соленосные толщи верхней юры. Они перекрываются терригенными и карбонатными отложениями мела, выше которых залегают кайнозойские терригенные молассы, дислоцированные в краевых частях впадины. Куринский прогиб обладает сложным строением, включает в себя ряд впадин и в целом сильно расширяется к востоку. Мощность осадочного чехла в нем колеблется от 1—2 до 8—10 км и более. Куринский прогиб сложен терригенно-карбонатными толщами верхнего мела, палеоценена и эоцена (общей мощностью до 1—3 км) и терригенными толщами олигоцена, неогена и антропогена (общей мощностью до 3—5 км).

Мегантиклиниорий Малого Кавказа в плане представляет собой широкую (150—200 км), выпуклую к северу дугу и включает ряд синклиниорных (Севанская и др.) и антиклиниорных (Сомхето-Карабахская, Зангезурская и др.) зон, сложенных в основном мощными вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами юры, мела, палеогена и прорванных многочисленными интрузиями кислого и основного состава. В антиклиниориях местами выходят на поверхность палеозойские и допалеозойские (?) кристаллические породы (Храмский, Арзаканский массивы и др.). Интенсивные проявления складчатости и магматизма на Малом Кавказе фиксируются в альпийский этап начиная с поздней юры вплоть до раннего олигоцена. В олигоцене, неогене и антропогене происходило формирование наложенных структур — относительно небольших межгорных впадин (Ереванская, Ленинаканская и др.) и вулканических щитов (Ахалкалакский, Армянский).

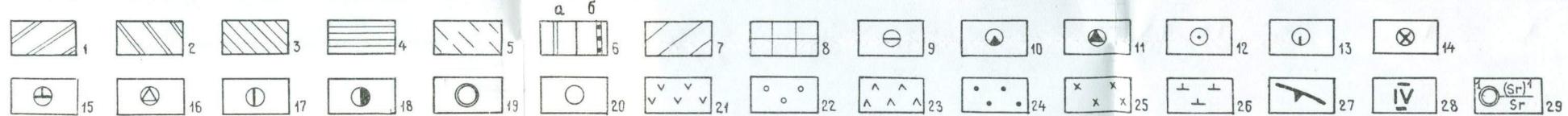
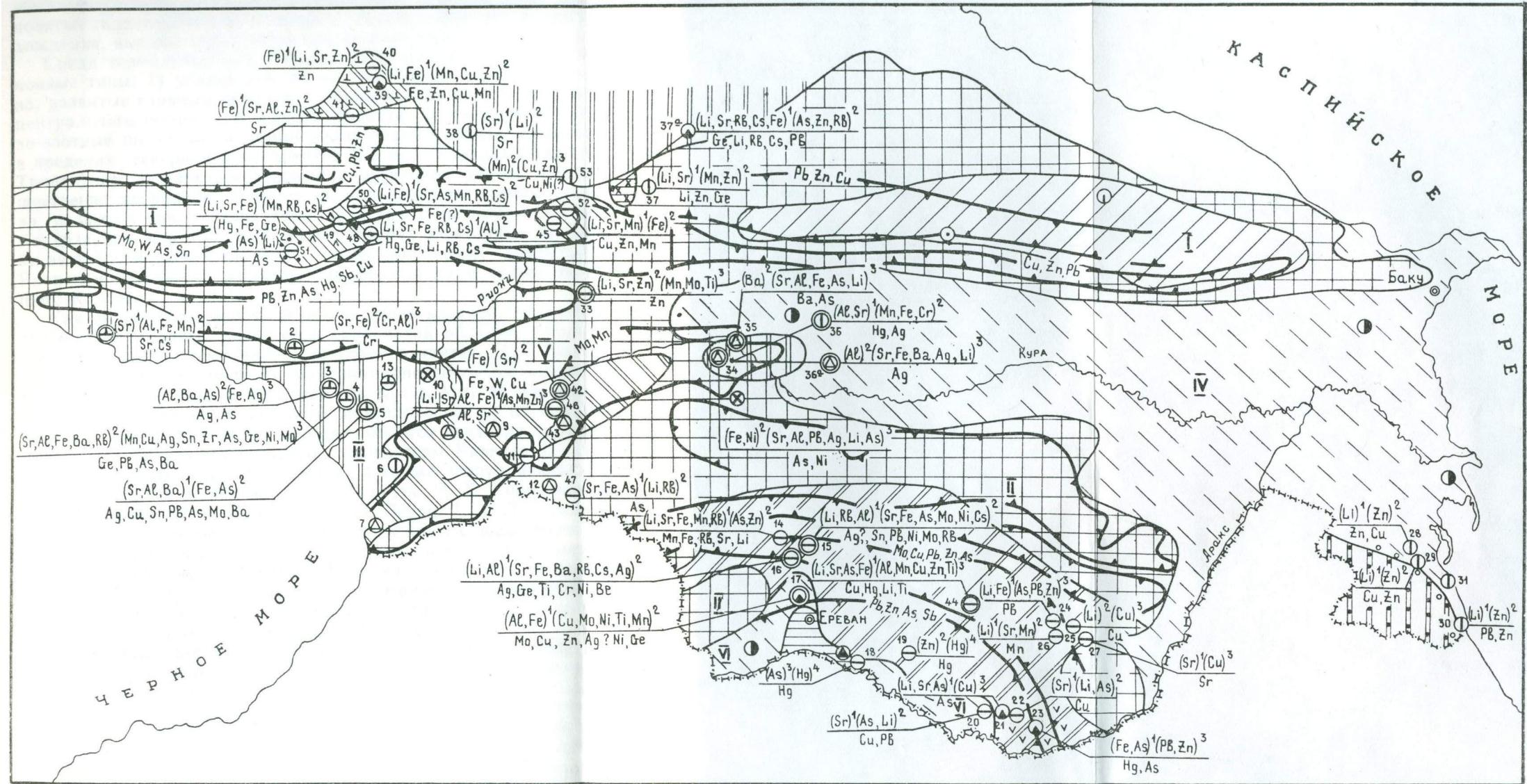
В Араксинском межгорном прогибе в верхних частях разреза залегают мощные толщи терригенных, терригенно-соленосных и вулканогенных образований верхнего палеогена, неогена и антропогена.

Минерагения Кавказа характеризуется большим разнообразием. Здесь выделяются несколько металлогенических зон с по-

лимиталлической, медной и медно-цинковой, вольфрам-молибденовой, медно-молибденовой, сурьмяной, ртутной и другой минерализацией [11, 17]. Некоторые из этих зон показаны на рисунке.

Кавказ представляет собой сложную гидрогеологическую складчатую область, которая подразделяется на гидрогеологическую складчатую область Большого Кавказа (I), гидрогеологическую складчатую область Малого Кавказа (II), Рионский (III), Куринский (IV), Араксинский (VI) артезианские бассейны и Дзиурульскую систему массивов и адмассивов (V) [3, 14].

В пределах Большекавказской складчатой области наиболее широко распространены системы массивов и адмассивов с пресными (гидрокарбонатными) и слабосолеными (гидрокарбонатно-хлоридными и хлоридно-гидрокарбонатными), часто углекислыми водами. Выходы термальных (субтермальных) гидрокарбонатных и хлоридных вод разного газового состава здесь приурочены к крупным зонам разломов. Складчатая область Малого Кавказа характеризуется развитием сложных систем адмассивов, массивов, артезианских и артезианских бассейнов, а также супербассейнов и супермассивов с пресными, солеными и даже рассольными водами различного солевого и газового состава. Массивам, супермассивам и супербассейнам свойственно распространение пресных и солоноватых гидрокарбонатных кальциевых, реже хлоридно-гидрокарбонатных кальциево-натриевых вод с газами воздушного происхождения, а также местами углекислых вод. В адмассивах и адбассейнах наряду с пресными и слабосолеными гидрокарбонатными и хлоридно-гидрокарбонатными кальциево-натриевыми и натриевыми углекислыми водами широко известны азотные, часто сероводородные щелочные воды различного состава. В небольших по размежрам артезианских бассейнах содержатся главным образом гидрокарбонатно-хлоридные, хлоридные соленые и рассольные воды различного газового состава. Термальные воды на Малом Кавказе выходят по зонам разломов, вскрываются большим числом скважин и характеризуются различным химическим составом. В разрезе Куринского артезианского бассейна в зоне свободного водообмена развиты воды пестрой минерализации и различного солевого состава, в зонах затрудненного и весьма затрудненного водообмена преобладают хлоридные метановые соленые и рассольные термы. Рионский артезианский бассейн в зоне свободного водообмена характеризуется преимущественным распространением пресных и слабосолоноватых гидрокарбонатных вод с газами воздушного происхождения. В разрезе зоны затрудненного водообмена нормальная гидрохимическая зональность соленых и рассольных хлоридных натриевых метановых вод нарушается внедрением азотных, метаново-азотных сульфатных терм малой минерализации, имеющих площадное развитие. В Араксинском артезианском бассейне преобладают в



Схематическая карта термальных вод Кавказа (с данными о металлоносности).

1—7 — провинции термальных вод: 1 — углекислых гидрокарбонатных и хлоридных, 2 — углекислых и азотных (азотно-метановых) гидрокарбонатных и хлоридных разного анионного состава, 3 — углекислых гидрокарбонатных, 4 — углекислых, азотных и метановых хлоридных, 5 — метановых хлоридных, 6а — метановых и азотных хлоридных, гидрокарбонатно-хлоридных, 6б — азотных, метановых хлоридных, 7 — азотных, азотно-метановых гидрокарбонатных; 8 — районы, где проявления термальных вод не известны; 9—18 — проявления термальных вод: 9 — углекислых гидрокарбонатных, хлоридно-гидрокарбонатных, 10 — углекислых хлоридных, гидрокарбонатно-хлоридных, 11 — азотно-углекислых, углекислых азотных гидрокарбонатных и хлоридных, 12 — азотных гидрокарбонатных, 13 — метановых и метаново-азотных гидрокарбонатных, 14 — азотных и азотно-метановых сульфатных натриевых, 15 — азотных и азотно-метановых сульфатных кальциевых, 16 — азотных и азотно-метановых гидрокарбонатных и гидрокарбонатно-хлоридных, 17 — азотных и азотно-метановых хлоридных, 18 — метановых хлоридных; 19 — водопunkты, металлоносность микрокомпонентного состава терм в которых охарактеризована недостаточно; 20 — водопunkты, металлоносность микрокомпонентного состава терм в которых охарактеризована достаточно полно; 21—26 — гидроминератические зоны: 21—As, Pb, B, местами Cu, 22—Cu, Zn, реже Pb, 23—Cu, Hg, Rb, Cs, 24—As, 25—Ge, Rb, Cs, Zn, 26—Zn, местами Cu; 27 — границы металлогенических зон [11]; 28 — гидрогеологическая структура первого порядка; 29 — формула металлоносности вод.

основном хлоридные соленые и рассольные воды различного газового состава с температурой до 100° С и выше. В пределах Дзирульской системы гидрогеологических структур, где преимущественным распространением пользуются пресные, реже солоноватые гидрокарбонатные воды с газами воздушного происхождения, выходы термальных вод не известны.

Среди термальных вод Кавказа выделяются следующие основные типы: 1) углекислые термы различного солевого состава, развитые главным образом на Малом Кавказе и в пределах центрального сегмента Большого Кавказа; 2) азотные, метаново-азотные щелочные маломинерализованные термы, известные в пределах северной дуги хребтов Малого Кавказа (Аджаро-Триалетия); 3) азотно-метановые и метановые термы преимущественно хлоридного натриевого, кальциево-натриевого состава, развитые как в складчатых областях Большого и Малого Кавказа, так и в артезианских структурах межгорных впадин; 4) азотные, метаново-азотные сульфатные термы, вскрытые в Рионском бассейне и известные на юго-западном склоне Большого Кавказа.

Как видно из приведенной выше очень краткой характеристики гидрогеологии Кавказской складчатой области, термальные воды здесь имеют весьма широкое развитие. При сравнительно хорошей изученности макрокомпонентного состава терм Кавказа (в том числе и металлов Na, K, Ca, Mg) их микрокомпонентный состав (и, в частности, металлоносность) изучен еще весьма слабо. В различных работах имеются сведения о металлоносности микрокомпонентного состава терм Кавказа [1, 2, 4, 6—10, 13, 15, 16 и др.]. Эти данные, а также неопубликованные материалы С. Р. Крайнова, В. В. Иванова, М. Х. Корольковой, Н. Г. Петровой, В. А. Арбузова, И. Л. Берри, Т. Х. Лазарашвили, Г. И. Пустоваловой, Е. А. Баскова и других исследователей учтены в настоящей статье. Относительно полно изучена металлоносность микрокомпонентного состава углекислых терм, металлоносность других типов терм исследована еще недостаточно. Ниже приводится характеристика металлоносности только микрокомпонентного состава термальных вод.

Углекислые гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные термы распространены в пределах Большого и Малого Кавказа, выходы их отчетливо тяготеют к районам проявления неоген-четвертичного вулканизма. Минерализация вод колеблется от 2—3 до 6—8 г/кг, температуры (у поверхности земли), как правило, не превышают 30—40° С, достигая в единичных случаях 60—65° С (Джермук, 44*). Имеющиеся основные данные о металлоносности микрокомпонентной составляющей этих терм приведены в табл. 1, а данные об их средних содержаниях — в табл. 2. Как видно из этих данных и формул металлоносности

* Здесь и далее после названия источника дан его номер на рисунке.

Таблица 1

Металлоносность углекислых гидрокарбонатных и

№ п/п	Номер водо- пункта на ри- сунке	$\Sigma_{\text{мин}}$ г/кг	pH	$t^{\circ}\text{C}$	H_3BO_3	Li	Sr	F	Al	Fe	As	Ge	Pb	Mn	Mo	Ag	Cu	Zn
1	14	8,1	6,8	32	112	3,5	9,2	Не обн.	—	12,3	0,3	0,01	Не обн.	1,2	—	—	Сл.	0,02
2	24	3,8	—	26	39	1,5	—	0,5	—	2,5	0,06	—	0,03	—	—	—	—	0,02
3	15	2,46	7,5	—	61	1,3	0,8	0,7	(1,6)	(0,8)	0,3	(0,02) *	(0,03)	(0,07)	(0,1)	(Есть)	(0,004)	—
4	26	3,6	6,6	25	39	1,1	(0,9)	0,7	—	—	0,07	—	Не обн.	(0,9)	(0,0003)	—	Сл.	0,015
5	16	3,35	7,8	40	59	1,4	(0,9)	2,5	(1,7)	(0,4)	—	(0,03) *	(0,01)	(0,03)	(0,008)	(0,02)	(0,005)	Не обн.
6	33	5,06	6,4	21 (?)	34	0,5	0,7 (0,1)	—	(Не обн.)	(Не обн.)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,002)	(0,01)	(0,01)	(Не обн.)	(0,002)	(0,2)
7	20	3,7	6,4	23,4	25	0,26	2,8	1,3	—	—	0,1	—	0,02	—	—	—	0,01	0,04
8	40	3,5	6,4	39	0,7	0,5	0,1	0,03	—	4,9	—	—	—	0,08	—	—	0,008	0,7
9	19	0,88	—	23	2,8	—	—	0,4	—	—	—	—	—	Не обн.	—	—	Сл.	0,01
10	18	0,9	6,7	26	2,8	—	—	0,9	—	—	0,02	—	Не обн.	—	—	—	Не обн.	Не обн.
11	25	3,2	6,3	21	22,4	0,2	Есть	1	—	—	Не обн.	—	—	—	—	—	0,02	0,007
12	46	6,2	—	28,5	—	1,1	5,6	0,1	2,3	2,9	0,02	—	—	0,05	—	—	—	0,05
13	44	5,4	7,2	64,5	—	3,7	3,8	1,2	0,03	0,3	1	—	Не обн.	0,09	—	—	0,02	0,02
14	22	3,4	—	28	—	0,4	1,8	0,3	—	—	0,12	—	—	—	—	—	0,02	0,03
15	11	5,8	7,1	38	30	0,4	1,8	0,6	—	—	0,3	—	—	—	—	—	Не обн.	0,03
16	47	7,3	6,9	38	—	0,8	5,1	3,5	—	10,1	4	—	—	—	—	—	—	0,06
17	48	6,6	6,7	16	—	18,5	1,6	—	0,1	2	0,002	0,02	—	—	—	—	0,006	0,04
18	49	3,2	6,3	18,7	—	2,1	2	0,6	Не обн.	24	0,01	0,01	—	0,1	—	—	0,002	0,01
19	50	3,5	6,5	24	—	1,4	0,9	1,8	—	13,6	0,5	0,001	—	0,4	—	—	0,004	—
20	52	7,7	6,8	8—15	—	2,7	2,6	—	—	0,7	—	—	—	1,5	—	—	0,01	0,09

1 — Анкаван, скв. 17, амфиболовые сланцы, РЗ. Кроме того, установлено глинистые породы, N [4], (I); 3 — Бжни, скв. 1, метаморфизованные сланцы, Zr — (0,09), Rb — 1,1, Cs — 0,47 (4); 4 — Урут, скв. 5, песчано-глинистые поро H_2S — 0,1, H_2SiO_3 — 139, Ba — (0,4), Cr — (0,02), Sn — (0,02), Zr — (0,04), порfirитовая свита, J₂ (мг/кг): Ti — (0,02), Sn — (0,002), Zr — (0,003) (5); источник 1 (мг/кг): H_2SiO_3 — 43 [15], (8); 9 — Арени, источник, карбонатные 0,001 (2); 11 — Карапундж, источник, карбонатные породы, J₃ (2); 12 — Бор Джермук, скв. 3, кварцевый диорит (мг/кг): H_2SiO_3 — 120, Ti — 0,09, Hg — толща, P? (мг/кг): H_2SiO_3 — 67 (2); 15 — Ахалцихе, источник, вулканогенные K₁ (мг/кг): Rb — 0,4 (2, 7); 17 — Верхнебаксанский источник, кристаллические Тактыр-Нарзан, источник, кристаллические породы (мг/кг): H_2SiO_3 — 109, метаморфических, осадочных и кристаллических пород (мг/кг): H_2SiO_3 — 140, 0,01, Co — 0,0007 [16].

Примечание. 1. Здесь и далее, в табл. 2—10, со знаком * приведены only промежуточного стандарта, требующие дополнительной проверки.

2. В описании под табл. 1, 3, 5, 7, 9 цифры в круглых скобках, набранные нова, М. Х. Корольковой, 1962 г.; 2 — С. Р. Крайнова, М. Х. Корольковой, 5 — Г. И. Пустоваловой, 1965 г.; 6 — Е. А. Баскова, 1974 г.; 7 — Т. Х. Лаза 10 — М. Х. Корольковой, Н. Г. Петровой, 1964 г.; 11 — Т. Я. Ващук, 1975 г.;

хлоридно-гидрокарбонатных терм Кавказа (мг/кг)

(мг/кг): H_2SiO_3 — 54, Rb — 1,6 [2, 7, 10], (I); 2 — Шамб, скв. 16, песчано-РЗ? (мг/кг): H_2SiO_3 — 154, Ba — (0,6), Ni — (0,5), Cr — (0,03), Sn — (0,03), ды, N (2, 3); 5 — Арзакан, скв. 1, метаморфические породы, РЗ (мг/кг): Rb — 0,6, Cs — 0,2; скв. 2 (мг/кг): Ag — (0,29) * (4); 6 — Джава, скв. 14а, 7 — Кегаб, скв. 6, туфогенно-осадочные породы, Р (2); 8 — Железноводск, породы, D (мг/кг): Hg — 0,001 (2); 10 — Арагат, источник 1 (мг/кг): Hg — жомы, источник Екатерининский (мг/кг): H_2S — 33, H_2SiO_3 — 29 (8); 13 — 0,001, Fe — 90 [2], (2); 14 — Казанчи, источник, вулканогенно-осадочная породы, Р ₂ (мг/кг): H_2SiO_3 — 90 (2); 16 — Накалакеви, скв. 9, известняки, породы (мг/кг): H_2SiO_3 — 36, Rb — 1,5, Cs — 2,6, Hg — 0,08 [5, 9, 15]; 18 — Rb — 0,5, Cs — 0,24, Hg — 0,001 [9, 15]; 19 — Джилы-Су, источник, комплекс Rb — 0,2, Cs — 0,1 [9, 15]; 20 — Зарамаг, источник, сланцы, J ₁ (мг/кг): Ni —

данные количественного спектрального анализа, выполненного методом внеш-

курсивом, означают, что приведены неопубликованные данные: 1 — С. Р. Крайнова, М. Х. Корольковой, 1962 г.; 3 — Г. В. Паносяна; 4 — Е. А. Баскова, Г. И. Пустоваловой, 1974 г.; 5 — Г. И. Пустоваловой, 1965 г.; 6 — Е. А. Баскова, 1974 г.; 7 — Т. Х. Лаза, 1973 г.; 8 — А. П. Герасимова, 1918 г.; 9 — В. А. Арбузова, 1966 г.; 10 — М. Х. Корольковой, Н. Г. Петровой, 1964 г.; 11 — Т. Я. Ващук, 1975 г.; 12 — Э. Ю. Варшавской, 1967 г.

Таблица 2

**Обобщенные данные о содержании металлов
в углекислых гидрокарбонатных термах Кавказской области**

Эле- менты	Количество опреде- лений	% обна- ружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(6)	50	(0,003)	(0,02)*
Cu	26 (6)	75	0,006 (0,006)	0,025 (0,03)
Hg	13	45	0,0004	0,08
Zn	23 (5)	80	0,03 (0,03)	0,7 (0,2)
Ge	5 (5)	90	0,008 (0,009)	(0,03)
Sn	(6)	35	(0,002)	(0,03)
Pb	10 (6)	45	0,006 (0,009)	0,03 (0,03)
Ga	(4)	Не обн.	—	—
As	18 (5)	90	1,3 (0,14)	11 (0,7)
Ti	(4)	75	(0,04)	(0,09)
V	(4)	Не обн.	—	—
Cr	(7)	45	(0,01)	(0,04)
Mn	7 (13)	100	0,45 (0,1)	1,5 (0,9)
Fe	15 (6)	100	7,3 (0,5)	24 (0,8)
Ni	4 (6)	70	0,009 (0,09)	0,02 (0,5)*
Mo	(7)	100	(0,04)	(0,1)
Rb	9	100	0,7	1,6
Cs	7	100	0,5	2,6
Sr	20 (7)	100	4 (1,9)	12 (5,8)
Ba	6 (7)	90	1,9 (0,25)	4,6 (0,6)
Zr	(6)	100	(0,07)	(0,3)

(см. рисунок), для рассматриваемого типа терм характерно постоянное присутствие Sr, Fe, часто Mn, иногда Rb, Cs (термы Арзаканского массива, 14, 16) и As (Джермук, 44, Накалакеви, 47) в концентрациях более 1 мг/кг. В количествах 0,1—1 мг/кг в данном типе, за редким исключением, содержатся Zn, Mn, As, реже Cu, Ni, Ag. Такие элементы, как Pb, Ge, встречаются значительно реже и в концентрациях до 0,1 мг/кг, а Hg — до 0,01 мг/кг. При этом целый ряд элементов рудной минерализации (Rb, Ag, Ge, Zn, Hg, Pb, As, реже Cu и Ni) присутствует в количествах, значительно превышающих их средние содержания в данном типе терм, образуя аномалии. Так, например, Верхнебаксанские термы (48) обогащены ртутью, германием, рубидием, цезием. Повышенные количества ртути и железа установлены в этом районе в источниках Тактыр-Нарзан (49). Для района Джермуга (44) намечается обогащенность терм медью, ртутью, литием, титаном. Имеются требующие проверки данные (табл. 1) о повышенных концентрациях серебра, герmania, никеля в Арзаканских термах (16) на Малом Кавказе.

Углекислые хлоридные и гидрокарбонатно-хлоридные термы известны на северном склоне Большого Кавказа и в южных районах Малого Кавказа. Выходы их приурочены к зонам разломов в краевых частях адартезианских (и артезианских) структур и адмассивов, обычно в районах проявления неоген-четвертичного магматизма. Минерализация этих терм колеблется от 5 до 22 г/кг, температуры (у поверхности земли) изменяются от 16—20 до 40—57° С. Сведения о металлоносности микрокомпонентного состава ограничены. В целом, по имеющимся данным (табл. 3, 4), для них характерен тот же комплекс металлов, что и для углекислых гидрокарбонатных терм. Преобладающими среди металлов микрокомпонентного состава являются Fe, иногда As (Нагаджир, 21, Джульфа, 23), их количества превышают 1 мг/кг. В концентрациях 0,1—1 мг/кг в термах присутствуют Zn, Mn, реже Cu. Такие элементы, как Pb, Ge, встречаются в количествах до 0,1 мг/кг. Привлекают внимание весьма высокие концентрации отдельных металлов в ряде водопунктов. Так, в термах Джульфы (23) выявляются аномально высокие количества мышьяка (20—28 мг/кг) и бора, во много раз превышающие их средние значения (табл. 4). Эти же термы характеризуются повышенными концентрациями ртути и свинца. Для Арзинских терм (17) намечаются аномально повышенные количества молибдена, меди, а также (требует уточнения) серебра, никеля, германия и цинка. В термах Пятигорска (39) установлены аномальные концентрации меди, цинка, железа и марганца. Верхнекармадонские термы (37а) обогащены цезием, рубидием, германием (табл. 3).

Азотные и азотно-метановые гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные термы известны в адбассейнах и адмассивах северных районов Малого Кавказа. Относительно полно эти тер-

Таблица 3

Металлоносность углекислых хлоридных
и гидрокарбонатно-хлоридных терм Кавказа (мг/кг)

№ п/п	Номер водо- пункта на рисунке	$\Sigma_{\text{мин}}^{\text{г/кг}}$	pH	$t^{\circ}\text{C}$	H_2SiO_3	H_3BO_3	Li	Sr	F	Fe
1	23	21,8	6,6	42	26	1590	—	—	0,1	2
2	21	5,4	6,4	25	—	140	1,1	3,4	—	—
3	17	11,3	6,6	20,1	130	77	—	Не обн.	—	(1,1)
4	17	5,4	6,6	16,6	118	49,5	(0,5)	(3,5)	—	(1)
5	39	6,8	6,8	60	30	11	2,8	—	—	7,7
6	37а	7,9	6,6	57	—	—	12,5	4,4	2	—

№ п/п	Номер водо- пункта на рисунке	As	Pb	Mn	Ag	Cu	Zn	Co
1	23	28,4	0,03	Не обн.	—	Не обн.	0,07	0,0004
2	21	2,5	Не обн.	—	—	—	0,02	—
3	17	(Не обн.)	(Не обн.)	(Не обн.)	(Есть)*	(0,1)	(Не обн.)	(Не обн.)
4	17	—	—	(0,25)	(0,01)	(0,005)	(1,5)	—
5	39	0,0003	—	0,6	—	0,19	0,6	—
6	37а	0,3	—	—	—	0,003	0,1	—

1 — Джульфа (Дарыдаг), скв. 7(64), карбонатные породы, К₂. Кроме того, установлено (мг/кг): Co — 0,0004, Hg — (0,0006—0,002) [1]; 2 — Нагаджир, скважина, контакт гранитов с песчаниками и мергелями, Р₂ (1); 3 — Арзни, скв. 1/62 (мг/кг): Al — (4,1), Mo — (0,16) (4); 4 — Арзни, скв. 3/62 (мг/кг): Ni — (0,15), Ti — (0,2), Co — (0,003), Ge — (0,07)*, Mo — (0,06) (6, 9); 5 — Пятигорск, источник 106, известняки, К₂ (мг/кг): W — (0,004), Cs — 0,0002 (10); 6 — Верхний Кармадон, источник 9, песчано-сланцевая толща, J₁₋₂ (мг/кг): Rb — 3, Cs — 2,7, Ge — 0,02, Be — (0,002), Fe — 1,7, Ni — (0,01), Co — (0,001) [5, 9], (10, 11).

Таблица 4
Обобщенные данные о содержании металлов
в углекислых хлоридных и гидрокарбонатно-хлоридных термах
Кавказской области

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(6)	85	(0,008)	(0,01)
Cu	11 (5)	75	0,02	(0,1)
Hg	4	100	0,0005	0,002
Zn	12 (5)	65	0,09 (0,4)	0,6 (1,5)
Ge	2 (2)	65	—	0,02 (0,07)*
Pb	8 (4)	50	0,008 (Не обн.)	0,8 (?)
As	13 (4)	70	0,4 (Не обн.)	28,4
Ti	(3)	40	(0,01)	(0,2)
Cr	(5)	40	(0,01)	(0,05)
Mn	8 (4)	75	0,2 (0,3)	0,6 (0,5)
Fe	8 (4)	100	3,7 (0,7)	7,7 (1,8)
Ni	6 (4)	70	0,01 (0,01)	0,04 (0,02)
Mo	(4)	50	(0,02)	(0,06)
W	1	—	—	0,004
Li	7 (5)	100	3,7 (3,8)	49,6 (5)
Rb	2	100	—	3
Cs	2	100	—	2,7
Be	2	100	—	0,002
Sr	2 (6)	95	(4,6)	4,6 (12)
Ba	2 (6)	70	(0,15)	4,7 (0,5)
Al	6 (4)	40	0,07 (1,4)	0,4 (5)

Примечание. Количество ртути рассчитаны по данным Н. Х. Айдиньян, Н. А. Озеровой, О. Г. Унановой [1].

мы изучены в районе г. Тбилиси, где они вскрыты рядом скважин в осадочных и вулканогенных толщах палеогена. Минерализация терм колеблется в пределах 0,2—0,4 г/кг, величина рН часто превышает 9, температуры (при самоизливе) достигают 60° С и более. Как видно из табл. 5 и 6, где приведены основные данные о металлоносности микрокомпонентной составляющей данного типа терм, концентрации металлов в них низкие. Наиболее распространенный спектр металлов включает в себя Fe, Sr, As, Mn, Mo, Ge, при этом такие элементы, как Fe, Sr (часто As и Ag), содержатся в концентрациях 0,01—0,1 мг/кг, а постоянно присутствующие Ge, Pb, Mo — в количествах до 0,001 мг/кг. Ряд металлов (W, Sn, Be, V, Hg) не только характеризуется низкими концентрациями, но и редко обнаруживается (табл. 6). Аномально высокие концентрации металлов установлены в отдельных термах. Так, в скважине Ахалдаба (42) концентрация меди превышает средние ее значения для данного типа терм в 20 раз, а W — в 10; термы Сабуртало (35) и Лиси (34) обогащены As. Привлекают внимание и сведения о повышенных количествах серебра (до 0,03 мг/кг) в водах Тбилиси (36) и никеля (до 0,1 мг/кг) в водах Лиси (34), но данные эти нуждаются в дополнительной проверке.

Азотные и азотно-метановые хлоридные термы широко распространены в артезианских, адартезианских бассейнах, а также в некоторых адмассивах Кавказа. Металлоносность их микрокомпонентного состава почти не изучена, имеющиеся отрывочные сведения о распространении металлов в них приведены в табл. 7 и 8. Эти данные характеризуют в основном жильные воды зон разломов в адбассейнах и адмассивах. Минерализация терм изменяется от 2—3 до 20 г/кг (иногда выше), температуры (у поверхности земли) достигают 40—55° С. В микрокомпонентном составе рассматриваемых терм обнаружены As, Pb, Cu, Zn и другие металлы. Такие металлы, как Zn (местами Mn и Cu), присутствуют в количествах 0,1—1 мг/кг, при этом термы данного типа привлекают внимание высокими средними содержаниями цинка (0,2 мг/кг). Среди металлов-примесей, присутствующих в термах в концентрациях 0,01—0,1 мг/кг, встречены Ag, Rb, Cs, As, а в количествах менее 0,01 мг/кг — Pb и Ni (Саур, 53).

Ряд металлов обнаружен в концентрациях, превышающих их средние значения, и образует аномалии. Так, на Большом Кавказе (Нижний Кармадон, 37) прослеживается аномалия Ge, Rb, Cs, Pb; в Талыша (28, 29, 30) — Zn, Cu, местами Pb.

Азотные сульфатные термы известны в основном в Рионском бассейне, где они приурочены к карбонатным толщам нижнего мела и вскрыты скважинами на глубинах до 1000—2000 м. Минерализация вод колеблется от 0,3—0,4 до 3 г/кг, величина рН изменяется от 6,8 до 7,5. Температура воды на устье скважин достигает 80—90° С.

Таблица 5

**Металлоносность азотных и азотно-метановых гидрокарбонатных
и гидрокарбонатно-хлоридных терм Кавказа (мг/кг)**

№ п/п	Номер водо-пункта на рисунке	Σ мин/кг	pH	t° C	Sr	F	Al	Fe	Ba	Tl
1	42	0,3	9,7	43,2	0,1 (0,003)	—	(0,06)	(2,9)	(0,03)	(Не обн.)
2	35	0,27	9,4	66	(0,03)	2,5	(0,03)	(0,03)	(0,1)	(0,0008)
3	8	0,35	>9,4	35	—	7	—	—	—	—
4	34	0,24	8,9	28	(0,03)	—	(0,09)	(0,12)	(0,002)	—
5	34a	0,23	9,3	58	(0,02)	1,7	(0,006)	(0,02)	(0,02)	(0,007)
6	36	0,29	7,4	—	(0,05)	—	(0,13)	(0,04)	(0,02)	—
7	7	0,24	8,4	22—26	—	0,8	—	—	—	—
8	43	0,61	>9,4	27—33	—	3	—	—	—	—

Продолжение табл. 5

№ п/п	Номер водо-пункта на рисунке	Ge	Pb	Mn	Mo	Ag	Cu	Zn
1	42	(0,003)	(0,003)	(0,004)	(0,009)	(0,002)	(0,003)	(Не обн.)
2	35	(0,008)	(0,008)	(0,002)	(0,003)	(Не обн.)	(0,0008)	"
3	8	—	(Не обн.)	—	—	—	(Не обн.)	0,03
4	34	(0,005)	(0,012)	(0,004)	(0,002)	(0,0001)	(0,0008)	(Не обн.)
5	34a	0,004	(Не обн.)	(0,002)	(0,002)	(0,02)	(0,0002)	"
6	36	(0,006)	(0,001)	(0,002)	(0,008)	(0,027)*	(0,0004)	"
7	7	—	(Не обн.)	—	—	—	(Не обн.)	0,01
8	43	—	"	—	—	—	"	0,005

1 — Ахалдаба, скважина, вулканогенные породы, P_2 . Кроме того, установлено (мг/кг): H_2SiO_3 — 86, H_3BO_3 — 34, Li — 0,01, Cr — (0,009), W — (0,003) (5); 2 — Сабуртало, скв. 1, вулканогенные породы, P_2 (мг/кг): As — (0,05), H_3BO_3 — 12,5, Li — 0,03, Cs — сл. (4); 3 — Сулори, источник, туфогенные породы, P_2 (мг/кг): H_2SiO_3 — 93, H_3BO_3 — 19 (1); 4 — Лиси, скв. 3, туфогенные породы, P_2 (мг/кг): Ni — (0,1)*, H_2SiO_3 — 69, HS — 0,4 Li — 0,01, As — (0,05), Cr — (0,006), Sn — (0,002) (4); 5 — Лиси, скв. 1, туфогенные породы, P_2 (мг/кг): Ni — (0,007), HS — 0,1, H_2SiO_3 — 12, Li — 0,01, Zr — (0,007), As — 0,02 (4); 6 — Тбилиси, скв. 2, вулканогенные породы, P_2 (мг/кг): H_3BO_3 — 16,3, Li — 0,03, Ga — (0,003), Ti — (0,009) (4); 7 — Махинджанаури, скважина, вулканогенные породы, P_1 (мг/кг): H_2S — 7, H_3BO_3 — 9 (1); 8 — Садгери, скв. 10, туфогенные породы, P_2 (мг/кг): H_3BO_3 — 19 (1).

Таблица 6

**Обобщенные данные о содержании металлов
в азотных и азотно-метановых гидрокарбонатных
и гидрокарбонатно-хлоридных термах Кавказской области**

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(10)	80	(0,004)	(0,03) *
Cu	5 (10)	65	(0,0006)	(0,003)
Hg	6	Не обн.	—	—
Zn	5 (10)	35	0,01 (Не обн.)	0,03
Ge	(10)	100	(0,004)	(0,008)
Sn	(10)	30	(0,0008)	(0,003)
Pb	5 (10)	40	(0,003)	(0,01)
Ga	(6)	35	(0,002)	(0,003)
As	7 (10)	60	0,006 (Не обн.)	0,025
Ti	(6)	85	(0,002)	(0,004)
V	(5)	Не обн.	—	—
Cr	(10)	50	(0,002)	(0,009)
Mn	(10)	100	(0,008)	(0,06)
Fe	(10)	100	(0,3)	(2,9)
Ni	10	40	(0,001)	(0,1) *
Mo	10	100	(0,003)	(0,009)
W	(10)	10	(0,0003)	(0,003)
Li	5 (6)	100	0,01 (0,03)	0,03 (0,1)
Be	(10)	20	(0,0001)	(0,0005)
Sr	1 (10)	100	(0,07)	(0,2)
Ba	(10)	100	(0,03)	(0,1)
Zr	(10)	50	(0,001)	(0,006)
Y	(5)	Не обн.	—	—

Таблица 7

**Металлоносность азотных и азотно-метановых
хлоридных терм Кавказа (мг/кг)**

№ п/п	Номер водопункта на рисунке	Σ мин г/кг	pH	t° C	H ₂ S	H ₃ BO ₃	Li	Sr	F
1	36	4,4	8,2	42	0,1	148	—	(38,8)	—
2	29	12,4	6,9	35	—	67	1,5	—	2
3	28	17,9	>7,8	55	—	78	1,9	—	1,4
4	30	19,6	>7,8	40	—	19,5	1,1	—	1
5	37	5,7	7,7	30	Есть	—	6	—	5,6
6	38	3,1	9,2	>20	—	56	0,3	31,5	0,2
7	53	40,5	6,5	22	—	54	—	—	—

№ п/п	Номер водопункта на рисунке	As	Ge	Pb	Mn	Cu	Zn
1	36	Не обн.	Не обн.	Не обн.	(0,2)	(0,01)	Не обн.
2	29	0,01	—	"	—	0,01	0,5
3	28	0,02	—	0,01	—	0,01	0,4
4	30	0,002	—	0,03	—	Сл.	0,3
5	37	—	0,08	—	0,3	0,01	0,3
6	38	0,02	Не обн.	—	—	0,005	0,06
7	53	—	—	0,008	0,1	0,05	—

1 — Тбилиси, скв. 5, вулканогенные породы, Р₂. Кроме того, установлено (мг/кг): H₂SiO₃ — 26, Al — (2,6), Fe — (0,6), Cr — (0,15), Ag — (0,4) *, Zr — (0,06), Hg — 0,001 (1, 4); 2 — Мишар-Су, источник, песчано-сланцевые отложения, Р₃—N₁ (1); 3 — Массалы, источник, песчано-сланцевые отложения, Р₃—N₁ (1); 4 — Астара, источник 2, песчано-сланцевые отложения, Р₃—N₁ (1); 5 — Нижний Кармадон, источник (мг/кг): Rb — (0,04), Cs — (0,014); скв. 3 (мг/кг): Sr — 14,1, Mn — 0,4, H₂SiO₃ — 130, HBO₂ — 0,204 [7, 10]; 6 — Нальчик, скв. 17 (мг/кг): Rb — 0,02 (10); 7 — Саур, скв. 2 (мг/кг): Ni — 0,004 [16].

Таблица 8

**Обобщенные данные о содержании металлов
в азотных и азотно-метановых хлоридных термах
Кавказской области**

Эле- менты	Количество определений	% обнаруже- ния	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(2)	50	—	(0,04) *
Cu	11 (2)	70	0,009	0,05 (0,01)
Hg	9	10	0,0001	0,001
Zn	12	100	0,2	0,5
Ge	4 (2)	65	0,01	0,1
Sn	(2)	Не обн.	—	—
Pb	8 (2)	65	0,007	0,03
As	9 (2)	90	0,02	0,08
Cr	(2)	50	—	(0,15)
Mn	2 (2)	100	—	0,3 (0,2)
Fe	1 (2)	100	—	2,6 (0,6)
Ni	2 (2)	70	—	0,004 (0,2) *
Mo	1 (2)	85	—	(0,03)
Li	9	100	2,8	6
Rb	4	100	0,8	3
Cs	4	65	0,7	2,7
Be	3 (1)	35	0,001	0,002
Sr	2 (2)	100	—	32 (38,8)
Ba	(2)	100	—	(1,8)

Комплекс металлов, содержащихся в микрокомпонентном составе этих терм, как видно из табл. 9 и 10, обширен. Наряду с основными металлами (Sr , Al , Fe , Ba , реже As , Rb), содержащимися в количествах 0,1—1 мг/кг (иногда больше 1 мг/кг), в водах присутствуют Ag , Cu , Ge , Ni , Mo , Mn , Sn и др. в количествах 0,01—0,1 мг/кг. Часто содержания отдельных металлов превышают их средние концентрации и образуют аномалии. Имеющиеся единичные данные о повышенных количествах серебра (0,04 мг/кг) в Зугди (3) и Менджи (5) требуют подтверждения. Такие металлы, как вольфрам, бериллий, ванадий, в данном типе терм пока не обнаружены.

Региональные закономерности металлоносности микрокомпонентного состава термальных вод Кавказа вследствие их слабой изученности могут быть намечены лишь в первом приближении. Вместе с тем некоторые гидроминерагенические зоны выделяются достаточно четко. В юго-восточной части Малого Кавказа (Дарыдагские термы, 23) может быть выделена гидроминерагеническая зона с высокими содержаниями As , Pb , местами Cu . Для этой зоны характерно и высокое содержание бора. В Талышском районе Малого Кавказа (28—30) намечается гидроминерагеническая зона с аномально высокими концентрациями в термах Cu , Zn , реже Pb . В Эльбрусском районе Большого Кавказа намечаются две гидроминерагенические зоны. Первая из них характеризуется повышенными концентрациями Hg , Rb , Cs , Ge , при этом особый интерес представляют Верхнебаксанские источники (48), в которых концентрация ртути достигает 0,08 мг/кг, цезия — 2,6 мг/кг. Вторая гидроминерагеническая зона в этом районе выделяется по повышенным содержаниям в водах As (до 11 мг/кг). Своеобразная гидроминерагеническая зона, характеризующаяся повышенными (и высокими) концентрациями Ge , Cs , Rb , Zn , Cu и ряда других металлов, выделяется в Кармадонском районе Большого Кавказа (37). В пределах Минераловодского выступа (39, 40) намечается гидроминерагеническая зона с повышенными концентрациями в термах Zn , реже Cu , Fe .

Как видно из рисунка, некоторые выделяемые гидроминерагенические зоны довольно хорошо согласуются с металлогеническими зонами. Так, например, гидроминерагеническая зона с высокими концентрациями в термах As , Pb , реже Cu , выделяемая в районе Дарыдагских терм, находится в пределах металлогенической зоны с Pb , Zn , As , Sb . Гидроминерагеническая зона, выделяемая в районе Кармадонских терм, характеризующаяся повышенными количествами в термах Zn , Cu , Ge и других металлов, прослеживается в пределах металлогенической зоны со свинцово-медно-цинковой минерализацией. Гидроминерагеническая зона с повышенным содержанием цинка, намечаемая в пределах Минераловодского выступа, совпадает с выделяемой здесь металлогенической зоной с цинковой минерализа-

Таблица 9
Металлоносность азотных
и азотно-метановых сульфатных терм Кавказа (мг/кг)

№ п/п	Номер водопункта на рисунке	$\Sigma_{\text{мин}}$ г/кг	pH	t° C	$\frac{\text{HS}^-}{\text{H}_2\text{S}}$	H_2SiO_3	H_3BO_3	Li	Sr
1	10	1,2	7,5	34,6	—	16	2	0,04	1 (0,5)
2	1	2,05	6,9	41	$\frac{—}{1,4}$	39	2	0,07 (0,2)	1,2 (12)
3	4	1,57	6,8	85	$\frac{—}{1,5}$	68	1,4	(0,04)	(0,6)
4	4	1,45	7,6	89	$\frac{0,1}{—}$	61	2,7	—	8
5	3	0,84	7,5	80	$\frac{0,1}{—}$	42	1,3	—	—
6	2	0,37	7,1	36	—	39	2	0,05 (0,04)	(0,1)
7	5	2,56	7,3	55	$\frac{0,1}{—}$	41	3,4	Не обн.	(9,3)
8	13	1,27	7,0	82	$\frac{—}{5}$	—	1	0,06 (0,2)	1,3 (4,8)

Продолжение табл. 9

№ п/п	Номер водопункта на рисунке	F	Al	Fe	Ba	Mn	Mo	Ag	Cu
1	10	—	—	(0,02)	(0,06)	(0,006)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,001)
2	1	Сл.	0,2	(0,1)	(Не обн.)	(0,1)	,	,	(0,002)
3	4	—	(1,5)	(0,6)	(0,03)	(0,015)	(0,06)	(0,009)	(0,03)
4	4	1,9	0,44	0,13	0,15	(0,012)	(Не обн.)	(0,008)	(0,05)
5	3	1,7	0,7	0,07	0,1	(0,009)	(0,004)	(0,03)	(0,002)
6	2	—	0,07	(0,11)	(Не обн.)	(0,005)	(0,001)	(0,0004)	(0,002)
7	5	1,8	(14,8)	(0,4)	(1,86)	(0,056)	(0,02)	(0,04)	(0,07)
8	13	—	0,1	(0,02)	(0,06)	(0,002)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,004)

1 — Цхалтубо, источник, карбонатные породы, K₁ (5); 2 — Гагра, скв. 1, карбонатные породы, J₃—K₁. Кроме того, установлено (мг/кг): Cs—0,01 (12); 3 — Цаиши, скв. 1 (мг/кг): Ge — (0,03), Ni — (0,015) (6); 4 — Цаиши, скв. 3, карбонатные породы, K₁ (мг/кг): Pb — (0,009), Sn — (0,015), Zr — (0,018), Rb — 0,16, As — 0,03 (6); 5 — Зугдиди, скв. 3, карбонатные породы, K₁ (мг/кг): Cr — (0,006), Sn — (0,007), Zr — (0,006), As — (0,12); 6 — Ткварчелли, источник, порfirитовая свита, J₂ (мг/кг): Cr — (0,02); 7 — Менджи, скв. 2, карбонатные породы (мг/кг): Co — (0,0002), As — (0,4), Ge — (0,004), Cr — (0,017), Pb — (0,015), Sn — (0,002), Ni — (0,01) (6); 8 — Накалакеви, скв. 1, карбонатные породы, K₁ (5).

Таблица 10

Обобщенные данные о содержании металлов
в азотных и азотно-метановых сульфатных термах
Кавказской области

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(13)	45	(0,009)	(0,04)*
Cu	(13)	85	(0,01)	(0,07)
Zn	(8)	Не обн.	—	—
Ge	(13)	25	(0,003)	(0,03)?
Sn	(13)	15	(0,0002)	(0,01)
Pb	(13)	25	(0,002)	(0,015)
Ga	(5)	Не обн.	—	—
As	2 (13)	45	(0,06)	0,7 (0,4)
Ti	(10)	40	(0,02)	(0,08)
V	(5)	Не обн.	—	—
Cr	(13)	30	(0,008)	(0,02)
Mn	(13)	100	(0,02)	(0,1)
Fe	(13)	100	(0,3)	(3)
Ni	(13)	25	(0,003)	(0,03)*
Mo	(13)	70	(0,008)	(0,06)
W	(5)	Не обн.	—	—
Li	8 (9)	90	0,05 (0,1)	0,07 (0,2)
Rb	5	40	0,06	0,16
Cs	6	15	0,002	0,01
Be	(8)	Не обн.	—	—
Sr	4 (12)	100	1,3 (3,8)	1,8 (12)
Ba	(13)	85	(0,3)	(1,9)
Zr	(13)	30	(0,003)	(0,02)
Sb	(5)	Не обн.	—	—
Y	(5)	*	—	—

цией [11]. В связи с этим повышенные содержания металлов (Cu, Zn и др.), устанавливаемые в термах Талышского района Малого Кавказа, позволяют предполагать наличие здесь полиметаллической минерализации. Этот вопрос заслуживает специального изучения. Весьма высокие концентрации ртути (до 0,08 мг/кг) в термах Верхнебаксанского района (48, 49) позволяют предполагать наличие здесь ртутной минерализации. Повышенные количества цезия и рубидия в термах Кармадонского района могут указывать на возможную перспективность района в отношении редкометальной минерализации.

Многие термальные источники Кавказа выносят большое количество промышленно-ценных компонентов. В этих случаях металлы, входящие в состав термальных вод, могут представлять интерес не только как поисковый критерий, но и как определенный вид сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдиньян Н. Х., Озерова Н. А., Унанова О. Г. Ртуть в современных гидротермах. — В кн.: Очерки геохимии ртути, молибдена и серы в гидротермальном процессе. М., «Наука», 1970, с. 9—48.
2. АナンЯН А. Л., Бозоян О. А., Галстян А. Р. Минеральные воды Армении. — В кн.: Труды Ин-та геол. наук АрмССР. Ереван, 1963, с. 178—190.
3. Барабанов Л. Н. Термальные воды Малого Кавказа. М., Изд-во АН СССР, 1961. 82 с.
4. Геология Армянской ССР. Минеральные воды. Т. 9. Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1969. 524 с.
5. Гидрогеология СССР. Т. 9. М., «Недра», 1968. 488 с.
6. Крайнов С. Р. Бороносность минеральных вод восточной части Малого Кавказа. — В кн.: Вопросы геохимии подземных вод. М., 1964.
7. Крайнов С. Р. Геохимия герmania в углекислых термальных водах. — «Геохимия», 1967, № 3, с. 356—367.
8. Крайнов С. Р. Геохимия редких элементов в подземных водах. М., «Недра», 1973. 295 с.
9. Крайнов С. Р., Волков Г. А., Королькова М. Х. Особенности распространения и формы миграции микроэлементов Zn, Cu, Hg, Li, Rb, Cs, As, Ge в углекислых водах Эльбруссского вулканического района. — «Геохимия», 1966, № 2, с. 180—196.
10. Крайнов С. Р., Капранов С. Д., Петрова Н. Г. К геохимии рубидия в подземных водах. — «Геохимия», 1967, № 2, с. 185—196.
11. Металлогеническая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000. Л., 1971.
12. Милановский Е. Е., Хайн В. Е. Геологическое строение Кавказа. Изд-во МГУ, 1963. 357 с.
13. Мышияк содержащие минеральные воды СССР. М., 1973. 146 с. (Труды Центр. ин-та курортологии и физиотерапии. Т. 26).
14. Основные типы гидрогеологических структур СССР. Л., 1974. 92 с. (Труды ВСЕГЕИ, нов. сер. Т. 229).
15. Пантелеев И. Я. Гидрогеология и генезис Кавказских минеральных вод. — В кн.: Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М., 1960, с. 37—40.
16. Пхалагова Д. М. Минеральные воды Северной Осетии. Орджоникидзе, 1966. 164 с.
17. Смирнов В. И. Очерки металлогении. М., «Недра», 1963. 164 с.

УДК 550.42 : 546 : 553.7 (477.8/.9)

Л. Г. Учителева

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ СУБТЕРМАЛЬНЫХ И ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ВОСТОЧНЫХ КАРПАТ И КРЫМА

Рассматриваемые районы расположены в пределах альпийской складчатой области. Территория Восточных Карпат включает в себя складчатые зоны Карпат (Красно, Скибовая и др.) и Закарпатский прогиб. Складчатые структуры сложены преимущественно меловыми палеогеновыми флишевыми толщами мощностью до 7—8 км. Толщи смяты в узкие линейные складки,

осложненные сбросами, сдвигами и надвигами. Поперечные дизъюнктивные нарушения обусловливают блоковое строение региона. Залегают породы на метаморфизованных и интрузивных образованиях палеозоя, триаса, юры. В Закарпатском прогибе широко развиты относительно слабо дислоцированные миоценовые соленосные молассы мощностью до 3—5 км, а в северной части прогиба — и вулканогенные образования неогена — плиоцена [12, 13]. В гидрологическом отношении складчатая зона Карпат представляет собой систему гидрологических массивов и адмассивов, а Закарпатский прогиб — систему межгорных артезианских бассейнов и супермассивов [28].

Для Карпатской гидрологической складчатой области в целом характерно широкое развитие соленых и рассольных вод во всех типах гидрологических структур. Мощность зоны пресных вод в горной части Карпат не превышает 100—200 м, а в Закарпатских структурах в основном до 10—20 м [28]. Наиболее широко в Карпатах распространены углекислые минерализованные воды. Основные закономерности их размещения и формирования детально рассмотрены в работах А. Е. Бабинца, А. М. Овчинникова, Г. А. Головой и некоторых других исследователей. Выходы холодных и термальных минерализованных вод приурочены к зонам тектонических нарушений, участкам проявления интрузивной деятельности, нарушенным сводовым зонам антиклинальных складок. Температура вод в естественных выходах не превышает 18° С, скважинами вскрываются воды с температурой до 50° С и более. Состав субтермальных вод преимущественно хлоридно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-хлоридный натриевый, реже встречаются гидрокарбонатные натриевые и кальциево-натриевые углекислые воды. В гидрологических структурах Закарпатского прогиба, севернее Солотвинского соляного месторождения, на глубинах выше 500 м вскрыты термальные углекислые воды, соленые и рассольные хлоридного натриевого состава (с. Вышково). В гидрологических структурах на северо-западе складчатой зоны и в прилегающей части Предкарпатского прогиба распространены преимущественно углеводородные рассолы с температурами от 50 до 150° С и более.

Металлоносность минеральных (в том числе и термальных) вод Карпатского региона интенсивно изучается в последнее десятилетие. Опубликованные в различных литературных источниках фактические данные о металлоносности субтермальных и термальных вод приведены в табл. 1 и частично на рис. 1 [9—12, 14—21, 25—27, 29, 31].

Как видно из табл. 1, воды региона содержат значительный комплекс элементов. По данным Г. А. Головой, в целом для углекислых субтермальных и термальных вод Карпат характерна следующая ассоциация накапливающихся в них микроэлементов: B, As, F, Ge, Li, Rb, Cs, Hg, Ta, Nb, Sb, W, Au, Pb, Zn, Cu,

Металлоносность субтермальных и термальных минеральных вод Восточных Карпат (мг/кг)

№ п/п	Номер водо- пункта на рис. 1	F	As	Cu	Hg	Zn	Mn	Pb	Fe	Ba	Li	Ti
----------	--	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Углекислые гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые и кальциевые воды

1	1	0,46	0,006	0,007	—	0,005	—	—	—	—	—	—
2	2	5,1	—	0,31	—	(1,05) **	(0,31)	(0,1)	—	(0,1)	1,05	(0,1) **
		3**	—	(0,1) **	—			(1,05) **	—		(10,5) **	
3	3	4,7	—	—	Сл.	—	0,7	—	7	—	—	—
4	4	1,8	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—
5	12	0,2	2	Не обн.	—	0,05	1,4	0,05	8	—	—	—
6	13	0,1	Не обн.	”	Не обн.	0,38	Не обн.	1,4	Не обн.	—	—	—
7	14	7—10	—	”	0,01—0,08	0,007—0,02	—	0,1—1,8	—	—	—	Не обн.
8	15	0,3	0,016	0,04	”	0,067	2,2	0,02	4,8	—	—	—
9	16	13	—	Не обн.	”	—	0,22	—	21	—	—	—
10	17	0,2	28	”	”	0,03	0,76	—	1,5	—	—	Не обн.

Углекислые гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные натриевые воды

11	5	3,4	5 *	0,03 **	Не обн.	0,1 *	—	0,03	20—60	—	—	—
12	6	0,4—20	12,6	0,65	0,15	12	2	2,73	100 *	—	15,2	—
13	7	5,4 *	0,1	0,1 *	0,05	—	1,5	0,05 *	12,8	(7) **	(0,07) **	(0,7) **
		0,4 **	0,03 *	(0,07) **			(7) *	0,0001 **	(7) **			
14	8	Не обн. **	Сл. **	0,03 *	0,0005 *	0,057 *	—	0,04 **	—	Сл. **	—	—
15	9	0,28 **	0,0001	(0,01) **	(0,1) **	(0,1) **	—	(0,001) **	—	(0,001) **	—	—
16	10	—	—	—	—	—	—	—	—	8,7 *	—	—
17	18	—	50	—	—	0,02	—	0,01	8	—	—	—
18	19	0,3	25	Не обн.	—	—	—	0,36	Не обн.	—	2,9	—
19	21	—	—	—	—	—	0,05—0,08	—	—	0,002—0,003	—	—

№ п/п	Номер водо- пункта на рис. 1	F	As	Cu	Hg	Zn	Mn	Pb	Fe	Ba	Li	Ti
<i>Азотные слабосероводородные сульфатные и сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые воды</i>												
20	11	4 (1) **	Не обн.	(0,022)	Не обн.	0,05	0,7	(0,005)	1,6	—	(0,01)	(0,022)
21	20	0,2	—	—	„	Не обн.	0,04	—	1,8	—	0,002	—
<i>Метановые хлоридные натриевые воды ***</i>												
22	—	—	—	(2,16)	—	—	(2,16)	—	50,5	0,72	—	3,6
23	—	—	—	(4)	—	—	(7,95)	—	(79,5)	(2,4)	—	(2,4)
24	—	—	—	(1,1)	—	—	15,6	—	—	—	—	—

1 — Свалява, скважина. Кроме того, установлено (мг/кг): Ge — 0,003, V — 0,0025, B — 3,5, Se — 0,004; 2 — Поляна Квасова, скважина (мг/кг): HBO₂ — 120, Sr — (0,1) **; 3 — Луга, скважина (мг/кг): HBO₂ — 33, Fe — 0,2, Al — 0,9, Br — 0,1, I — 0,03; 4 — Шаян, скважина (мг/кг): Fe — до 10; 5 — Квасы, скв. 46 (мг/кг): K — 17, Sr — 0,8, Co — (0,0003), Ni — (0,004), HPO₄ — 2000, H₂SiO₃ — 14, HBO₂ — 48; 6 — Берегово, скважина (мг/кг): K — 24, Al — (0,03), Ni — (0,001), H₂SiO₃ — 160, HBO₂ — 0,2; 7 — Пашко-Быстриńskое месторождение, скв. 62 (мг/кг): K — 345, Al — (0,06), Co — (0,0005), Ni — (0,005), HPO₄ — 0,05, H₂SiO₃ — 15, HBO₂ — 556; 8 — Соймы, скв. 33 (мг/кг): K — 35, HPO₄ — 0,05, H₂SiO₃ — 13, HBO₂ — 60; 9 — Заверховское месторождение, источник 170; 10 — Горно-Тиссенское месторождение, скв. 44 (мг/кг): K — 17, Ni — 0,8, HPO₄ — 0,25, H₂SiO₃ — 4, HBO₂ — 150; 11 — Росток Великий, скважина (мг/кг): V — 0,0012, Se — 0,002; 12 — Вышково, скв. 1-T (мг/кг): Sr — 78, W — 0,002, V — 0,5, Rb — 2,7, Cs — 0,88, Ge — 0,003, B — 20; 13 — Соймы, скважина (мг/кг): H₂SiO₃ — 34, Al — (0,7) **, Co — (0,0001) **, Ag — (0,00001) **, Sr — (7) **, K — 41 **; 14 — Верховина Быстрая, источник; 15 — Ужгород, скважина (мг/кг): B — 0,6, Ag — (0,001) **, Ni — (0,01) **; 16 — Ужгород, скважина (мг/кг): Al — (0,8) *, Ni — (0,01) **; 17 — Горно-Тиссенское месторождение, скв. 45 (мг/кг): Ni — (0,002), HBO₂ — 130; 18 — Квасы, скв. 47 (мг/кг): K — 45, HPO₄ — 1,3, HBO₂ — 250; 19 — Горсадивка, скв. 50 (мг/кг): Co — 0,006, Ge — 0,0005—0,0015, B — 1—4; 20 — Синяк, скважина (мг/кг): Ni — (0,022), Se — 0,3, H₂SiO₃ — 13; 21 — турбаза Лумшоры (мг/кг): H₂SiO₃ — 17; 22 — Локачи, скв. 8, 1274—1439 м (мг/кг): Al — (2,3—3,6), Si — (0,8—3,6), Sr — 50—54; 23 — Локачи, скв. 10, 1637—1657 м (мг/кг): Al — (0,8), Si — (2,4), Ni — (1,4), Sr — 79,5. Cr — (0,9); 24 — Блажев, скв. 49, 3710—3805 м (мг/кг): Ni — (1,5), Sr — 778, Cr — (4,6).

Приложение. Приведены данные: * В. И. Маруса; ** А. В. Бабинца; *** А. Ф. Романюка, Г. И. Венглинского; остальные — Г. А. Голевой.

Ag, Mn, Ti [19]. При этом наиболее высокие концентрации ряда металлов зафиксированы в термальных углекислых хлоридных натриевых рассолах (минерализация 130 г/л), вскрытых на глубинах около 600 м в пределах Вышковского рудного поля. В них присутствуют (мг/л): Cu — до 0,65, Hg — до 0,025, Pb — до 2,7, Zn — до 12, Li — до 15, As — до 12,6, Sr — до 78 и другие металлы [17, 18]. Н. А. Бильт в водах этого района были обнаружены гидроарсенаты и гидрофосфаты в количестве до 96 мг/л [15, 20].

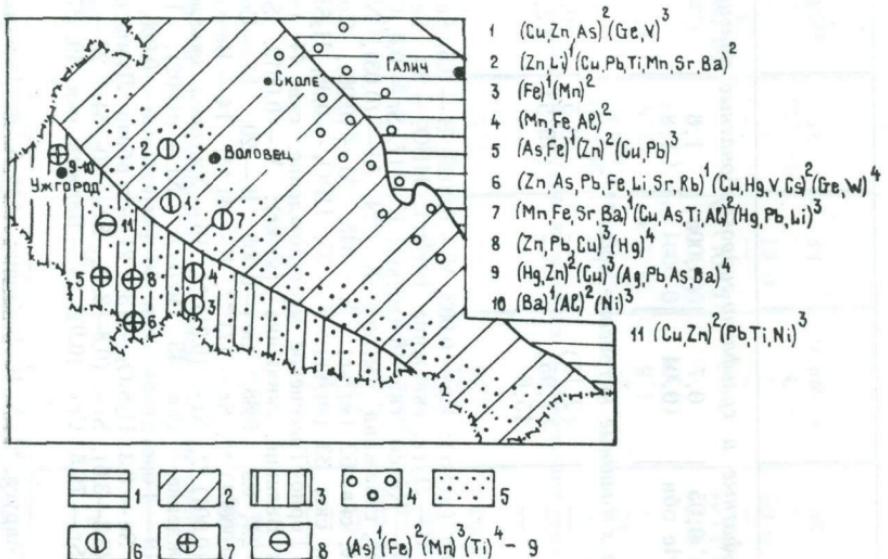


Рис. 1. Схематическая карта субтермальных и термальных вод Восточных Карпат (с данными о металлоносности).

1—3 — структурно-тектонические зоны: 1 — Предкарпатский прогиб — область преимущественного развития термальных соленых и рассольных азотно-метановых и метановых хлоридных натриевых вод, 2 — складчатая зона Карпат — область преимущественного развития холодных и субтермальных, пресных и соленых углекислых, реже азотных и метановых вод различного солевого состава, 3 — Закарпатский прогиб — область преимущественного развития холодных, субтермальных и термальных углекислых вод, от пресных до рассольных различного солевого состава; 4—5 — площади распространения: 4 — металлоносных углеводородных рассолов, 5 — металлоносных углекислых вод; 6—7 — проявления углекислых субтермальных и термальных вод; 6 — гидрокарбонатных натриевых, 7 — гидрокарбонатно-хлоридных и хлоридных натриевых; 8 — проявления азотных слабосероводородных сульфатных кальциевых вод; 9 — формула металлоносности вод.

В менее минерализованных водах обращают на себя внимание относительно повышенные (по сравнению с аналогичными типами вод ряда других складчатых областей СССР) концентрации Hg, As, Mo. При этом воды хлоридно-гидрокарбонатного и хлоридного натриевого состава содержат более разнообразный комплекс элементов и с более высокими концентрациями их по сравнению с водами гидрокарбонатными и хлоридно-

гидрокарбонатными натриевыми. Отмечая различную насыщенность углекислых вод региона металлами, Г. А. Голева подчеркивает, что области развития относительно обогащенных металлами вод совпадают с рудоносными зонами, а вне рудных полей содержание элементов значительно снижается [20]. Кроме того, по данным того же исследователя, металлогеническая характеристика подземных вод в значительной мере определяется металлогенической специализацией вмещающих пород. Так, в районах развития в породах мышьяк-сульфурно-борной минерализации подземные воды характеризуются аномально высокими концентрациями As, Sb, B; для них характерно следующее соотношение редких элементов: B>Li>Sr>Pb>Cs. В районах развития ртутных и полиметаллических рудопроявлений воды обогащены тяжелыми металлами — Pb, Zn, Cu, Hg [19]. Вокруг некоторых углекислых источников наблюдаются отложения тавертинов, содержащих повышенные концентрации Fe, Al, Sr, Mn, As (источники Соймы, Верховина Быстрая) [15].

Металлоносность углеводородных термальных вод, распространенных на северо-западе рассматриваемого региона, изучена крайне слабо. По данным Г. А. Головой, для них намечается следующая характерная ассоциация микроэлементов: Br, B, Li, I, Rb, Cs, Sr, Pb, Zn, Cu, Cd, Hg, Ag, Mn, Ba, P [19]. Значительные концентрации таких элементов, как Rb, Cs, Br, Sr, отмечали в этих рассолах В. М. Щепак и другие исследователи [31]. По данным А. Ф. Романюка, в углеводородных рассольных водах Карпат и Предкарпатья, вскрытых на глубинах 1270—3950 м (Локачи, Завода, Блажев и др.), содержатся (мг/кг): Sr — 50—1150, Al — 0,9—3,6, Ba — 0,7—2,6, Fe — 0,8—79, Si — 0,9—3,6, Cu — 0,9—7,1, Mn — 0,8—29, Ni — до 1,4, Ti — до 6,1, Cr — 0,05—5,6.

В целом, основываясь на опубликованных материалах, можно наметить следующие характерные особенности металлогении углекислых вод Карпат. Все субтермальные и термальные воды региона содержат достаточно разнообразный комплекс микроэлементов. Относительно повышенные концентрации ряда элементов наблюдаются в минерализованных углекислых водах, приуроченных к рудоносным зонам. Аномально высокие концентрации металлов зафиксированы в хлоридных натриевых углекислых термальных рассолах. Распространение ассоциаций металлов в водах в общих чертах согласуется с металлогенической характеристикой водовмещающих пород.

В пределах Крыма рассматриваемая территория охватывает Крымскую складчатую область (мегантиклиниорий Горного Крыма), периклинальное ее окончание (Керченский полуостров) и южное крыло эпигерцинской платформы (Равнинный Крым).

Складчатая область представляет собой сложную систему амфасисов и межгорных артезианских бассейнов, сложенных терригенными, терригенно-карбонатными и карбонатными фор-

мациями мезозойского возраста [28]. Для структур характерны проявления эфузивного вулканизма, большое количество разрывных нарушений, наличие древних и современных грязевых вулканов в антиклинальных зонах периклинали Керченского полуострова, многочисленные рудопроявления железа, марганца, алюминия, ртути [13, 14].

Гидрогеологические структуры Горного Крыма характеризуются широким развитием холодных пресных вод в верхних частях разреза, субтермальных и термальных минерализованных вод (до 48 г/кг) на глубинах выше 1000 м. Естественные выходы минерализованных вод (до 10 г/кг) приурочены к зонам молодых тектонических нарушений. Это в основном холодные и субтермальные воды (температура до 20° С) сульфатного, сульфатно-хлоридного, реже хлоридного состава, азотные слабоуглекислые (источник Обручевский) и слабосероводородные (источник Черные воды и др.). Для вод характерно наличие таких микроэлементов, как йод (до 3 мг/кг), бром (до 60 мг/кг), бор. В термальных водах глубоких горизонтов Горного Крыма содержание йода и брома повышается соответственно до 56 и 65 мг/кг (скважина г. Ялты, с 2200 м, из сланцев Т₃—J₁).

На Керченском полуострове развиты углекислые и сероводородные минеральные воды с температурой на выходе от 15 до 50° С. Минерализация их изменяется от 1 до 30 г/кг, состав разнообразный — от гидрокарбонатного натриевого до хлоридного натриевого. Углекислые воды широко распространены на востоке полуострова, здесь на площади деятельности грязевых вулканов прослеживаются три группы источников восходящего типа (Сеит-Элинские, Тарханкутские, Каялы-Сартские). По составу это в основном воды щелочного типа с содержанием гидрокарбонатных натриевых солей до 40 экв. %. Минерализация вод до 8—16 г/кг, содержание растворенной углекислоты 210—2000 мг/кг, содержание CO₂ в составе свободного газа 36—96 %. Для вод характерно весьма низкое содержание кальция (0—192 мг/кг) и магния (23—120 мг/кг), наличие йода (до 30 мг/кг), брома (до 124 мг/кг), бора.

Сероводородные воды широко распространены на северо-востоке полуострова в песках и известняках чокракского горизонта. Источники их выходят по контакту с подстилающими майкопскими и перекрывающими караганскими глинами [32].

Минерализация вод от нескольких до 3,25 г/кг, солевой состав гидрокарбонатно-хлоридный, хлоридно-гидрокарбонатный и хлоридный натриевый. Преобладающий состав газа азотный и углекисло-азотный, содержание сероводорода от 500 до 800 мг/кг. В составе вод относительно повышенено содержание йода (до 45 мг/кг) и брома (до 132 мг/кг).

Южное крыло Причерноморского артезианского бассейна (Равнинный Крым), сложенное терригенными и терригенно-карбонатными формациями юрского, мелового, палеогенового и

неогенового возраста, характеризуется широким развитием на глубинах свыше 300 м субтермальных и термальных азотных, азотно-метановых и метановых вод, иногда с наличием углекислоты (до 1000 мг/кг) и сероводорода (до 180 мг/кг). Минерализация вод до 20 г/кг, состав хлоридно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-хлоридный и хлоридный натриевый [14].

Данные о металлоносности субтермальных и термальных вод Крыма весьма малочисленны и неоднородны, они содержатся в опубликованных работах С. В. Обручева (1924 г.), Н. И. Лихомановой, В. А. Куришко, Н. Е. Чупис, А. С. Тердовидова [22—

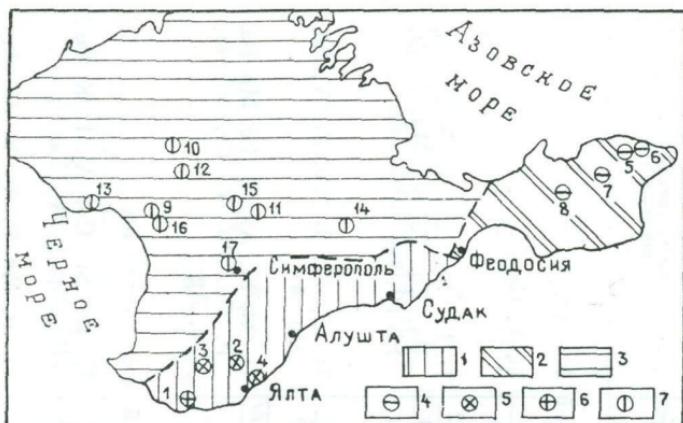


Рис. 2. Схематическая карта субтермальных и термальных вод Крыма.

1—3 — структурно-тектонические зоны: 1 — Крымская складчатая область (Горный Крым) — район преимущественного развития холодных и субтермальных пресных сульфатных и хлоридных слабоуглекислых и слабосероводородных азотных, реже метаново-азотных вод, 2 — периклинальное окончание Крымской складчатой области (Керченский полуостров) — район преимущественного развития субтермальных и термальных солоноватых и соленых азотных, метановых, углекислых, сероводородных вод смешанного солевого состава, в основном гидрокарбонатно-хлоридных, хлоридно-гидрокарбонатных и хлоридных натриевых, 3 — Причерноморская впадина — район преимущественного развития субтермальных и термальных азотных, метановых и смешанных по газовому составу солоноватых и соленых хлоридно-гидрокарбонатных, гидрокарбонатно-хлоридных и хлоридных натриевых вод, иногда с сероводородом и углекислым газом; 4—7 — проявления минеральных вод: 4 — углекислых, 5 — азотных сероводородных, 6 — азотных углекислых, 7 — азотных, азотно-метановых и метаново-азотных.

24, 30], Л. А. Яроцкого [32]. Наиболее полно металлоносность вод Крымского региона освещается в работах С. В. Альбова [1—8]. Эти данные приведены в табл. 2 и частично на рис. 2. Они характеризуют в основном металлоносность углекислых вод Керченского полуострова, азотных и метановых вод Равнинного Крыма.

Как видно из табл. 2, углекислые воды Керченского района характеризуются достаточно богатым спектром металлов (более

Металлоносность минеральных вод Крыма [1—8, 13, 14, 23, 24, 30, 32]

Номер водо- пункта на рис. 2	Формула основного состава воды	Преобла- дакщий состав газа	CO_2 (мг/кг)	$t^\circ \text{C}$	Элементы, обнаруженные в водах спектральным анализом (%)	Элементы, обнаруженные в водах химическим анализом (мг/кг)
			H_2S (мг/кг)	pH		
Горный Крым						
1	$M_{2,1} \frac{\text{SO}_4 50 \text{ HCO}_3 32 \text{ Cl} 18}{\text{Ca} 50 \text{ Na} 26 \text{ Mg} 24}$	N ₂	48 —	16 7,1	Ti, V, Cu	—
2	$M_{2,7} \frac{\text{SO}_4 91 \text{ HCO}_3 8}{\text{Na}_{67} \text{ Ca}_{30} \text{ Mg}_3}$	N ₂	— 10	17,2 7,4	Ti, Li, Sr, Cu, Al, B, Fe, Ni, Ba, Zn, P, W, Mn, F, Zr, Pb (0,003—0,01), Si	Cu—0,003, Mn—0,2—0,3, P_2O_5 —2,2, SiO_2 —13,5, HBO_2 —2,3, Br—до 3, I—до 2, I, Sr—7,6
3	$M_{3,7} \frac{\text{Cl} 96 \text{ HCO}_3 2 \text{ SO}_4 2}{\text{Na} 96 \text{ Ca} 4}$	CH ₄ —N ₂	— 10	16 7,5	Ti, Li, Sr, B, Fe, Zn, V, Se, Mn, As	Sr—4,6, Li—0,04, HBO ₂ —21, Br—59, I—2
4	$M_{49,3} \frac{\text{Cl} 100}{\text{Na} 85 \text{ Ca} 13 \text{ Mg} 2}$	N ₂	— 15	48—77 —	Ti, Al, Sr, As, Si, Fe, Mn, Ba, P, Cu, Pb, V, Cr, Ni, Zr, Sn, Ag	HBO ₂ —16, Br—65, I—56
Керченский полуостров						
5	$M_{6,6} \frac{\text{Cl} 54 \text{ HCO}_3 35 \text{ SO}_4 8}{\text{Na} 86 \text{ Mg} 8 \text{ Ca} 4}$	N ₂	— 360	15 7,4	Ti, Li, Sr, Cu, Al, B, K, Fe, Ba, Mn, F, As, La, V	—
6	$M_{14} \frac{\text{Cl} 64 \text{ HCO}_3 36}{\text{Na} 92 \text{ Ca} 5 \text{ Mg} 3}$	CO ₂ —N ₂	1056 —	15 7,6	Ti, Sr, Mn, P, As, B, Zn, Ag, V, Te, Co, Hg (0,00005—0,004), Cr (0,01), Cu (0,001), Sn (0,001), Pb (0,005), Sb (0,02)	Hg—0,001—0,005, HBO ₂ —1632, Br—до 124, I—до 24
7	$M_{11,5} \frac{\text{HCO}_3 59 \text{ Cl} 40 \text{ SO}_4 1}{\text{Na} 93 \text{ Mg} 4 \text{ K} 2 \text{ Ca} 1}$	CO ₂	1500 —	18,2 7,7	Ti, Li, Sr, Cu, Al, Si, B, Fe, Ba, P, V, Mn, F, Zr, As, La, Ag, Te, Co, Cr, Be, Ge, Sn, Ni, Zn (0,1), Hg (0,00001)	Hg—0,003—0,004, Ti—10, As—0,8, Fe_2O_3 —0,3—60, Al_2O_3 —0,4, SiO_2 —35, Li—1,5—3,4, HBO ₂ —850—1500, Br—60, I—20
8	$M_{9,7-11} \frac{\text{HCO}_2 69 \text{ Cl} 30 \text{ SO}_4 1}{\text{Na} 97 \text{ Mg} 2 \text{ Ca} 1}$	CO ₂ —CH ₄	1000 —	15 —	Ti, Sr, P, Zn, Ag, V, Ge, Ba, Be, Zr, Co, Pb, Mn, Hg (0,0001), Sn (0,01)	Ti—8, Fe_2O_3 —61, Sr—0,5, Li—1,2, HBO ₂ —1400, Br—56, I—26
Равнинный Крым						
9	$M_{2,2} \frac{\text{Cl} 47 \text{ HCO}_3 44 \text{ SO}_4 9}{\text{Na} 98 \text{ Ca} 2}$	N ₂	—	45 9,0	Ti, Li, B, As, Fe, Si, P, La, Cu, Y	Ag—0,2, Ba—0,9, Zn—2, Al—0,02, F—3, Mn—0,1, Cr—0,02, Mo—0,002, B—5, Ba—0,4, Sr—2, Br—6, I—1, Li—2, SiO_2 —21, Fe—0,1, Ti—0,04
10	$M_{37,9} \frac{\text{Cl} 99 \text{ HCO}_3 1}{\text{Na} 88 \text{ Ca} 10 \text{ Mg} 2}$	N ₂ —CH ₄	270 —	53 7,4	Ti, B, Fe, Mn, La, Zr, Li, As, Al, Si, Sr, Ba, V, Zn, Bi, W	Br—81, I—11,5
11	$M_{0,8} \frac{\text{HCO}_3 50 \text{ Cl} 23 \text{ SO}_4 22}{\text{Na} 100}$	N ₂	—	26 —	Ti, Ba, Sr, Zr, V, La	—
12	$M_{14} \frac{\text{Cl} 95 \text{ HCO}_3 5}{\text{Na} 98 (\text{Ca} + \text{Mg}) 2}$	CH ₄ —N ₂	—	58 —	Ba, Sr, Zr, Zn, La, Be, Y, Mn, Si, Bi	—
13	$M_{9,6} \frac{\text{Cl} 92 \text{ HCO}_3 7 \text{ SO}_4 1}{\text{Na} 96 \text{ Mg} 2 \text{ Ca} 2}$	N ₂	45 57	41 7,5	Ti, La, Y, Cu, F, As, Mn, B, Pb, Ba, Fe, Al	Ba—0,5, Sr—2, I—6, Br—20, B—11, SiO_2 —1,2, F—0,5—6, As—0,001, Al—0,1, Cu—0,002, Mn—0,1, Fe—0,4—0,5, Pb—0,1

Продолжение табл. 2

Номер водо-пункта на рис. 2	Формула основного состава воды	Преобла-дающий состав газа	CO_2 (мг/кг) H_2S (мг/кг)	$t^\circ \text{C}$ рН	Элементы, обнаруженные в водах спектральным анализом (%)	Элементы, обнаруженные в водах химическим анализом (мг/кг)
14	$M_{22} \frac{\text{HCO}_3 95 \text{ Cl } 3 \text{ SO}_4 2}{\text{Na } 84 \text{ Ca } 14 \text{ Mg } 2}$	N_2	—	28 —	Ti, Sr, Zr	—
15	$M_{1,3} \frac{\text{HCO}_3 60 \text{ Cl } 24 \text{ SO}_4 16}{\text{Na } 100}$	N_2	—	39 —	Ti, Ba, Sr, Zn, La, V	—
16	$M_{1,8} \frac{\text{HCO}_3 55 \text{ Cl } 35 \text{ SO}_4 10}{\text{Na } 100}$	N_2	—	39 —	Ti, Sr, Zr, Be, Zn, V	—
17	$M_{3,2} \frac{\text{HCO}_3 54 \text{ Cl } 39 \text{ SO}_4 7}{\text{Na } 98 \text{ (Ca+Mg) } 2}$	N_2	—	24 9,0	Ti, B, Fe, Li, Mr, Si, Zr, As, F, Sn, Sr, W, Ag, Zn (0,05), Cu (0,01)	As—0,7—1,5, Fe—0,06, F—0,6—1,2, Li—0,05—0,3, HBO_2 —8,6, Br—1,3, I—1,8

1 — источник Мелас, 40 км к западу от Ялты, глинистые сланцы, T_3 — J_1 ; 2 — Ялтинский туннель, источники, 1,5—1,6 км от южного портала, контакт глинистых сланцев и известняков, J_3 ; 3 — источник Аджи-Су, глинистые сланцы, T_3 — J_1 ; 4 — Ялта, скважина, сланцы, T_3 — J_1 ; 5 — источник Чокракский, известняки, N_1 ; 6 — источник Тарханкутский-2, известняки, N_1 ; 7 — источник Сент-Эли, известняки, N_1 ; 8 — источник Каяль-Сарт, 35 км к западу от Керчи, глины, P_3 — N_1 ; 9 — Саки, скважина, с глуб. 803 м, песчаники, K_1 ; 10 — скважина, 2,5 км к северу от Сусанино, 1291—1373 м, K_1 ; 11 — Новошиловка, скважина, с глуб. 385 м, K_1 ; 12 — Ильинка, скважина, с глуб. 1020 м, алевролиты, K_1 ; 13 — Евпатория, детский санаторий, скважина, 893—1238 м, известняки, PZ ; 14 — Васильевка, скважина, с глуб. 332 м, известняки, P_1 — P_2 ; 15 — Новоандреевка, скважина, с глуб. 745 м, пески, K_1 ; 16 — пос. Красный, скважина, с глуб. 745 м, песчаники, K_1 ; 17 — Белоглинка, скважина, с глуб. 305 м, конгломераты, J_2 .

30 элементов). Содержание некоторых металлов весьма значительно (%): V — до 0,01, Sn — до 0,01, Sb — до 0,02, Zn — до 0,1, Hg — до 0,0004; As, Pb, Cu установлены в концентрациях до 0,005. По данным аналитических определений, в углекислых водах Керчи содержится (мг/кг): Li — до 6, K — 40—260, Si — до 88, P₂O₅ — до 10, Sr — до 4, Fe — до 4, F — до 0,6, As — до 0,05, Hg — 0,001—0,005.

Можно отметить, что содержание ртути в углекислых водах Керченского полуострова превышает ее кларковое содержание в земной коре ($7,7 \cdot 10^{-6}\%$). По данным С. В. Альбова [5], ртуть присутствует также и в газовых выделениях грязевых вулканов. Кроме того, в газах сопочных вод фиксировались такие элементы, как He, H₂, CO, S, B, As, Pb, Sb [6]. Эти воды характеризуются также высокими содержаниями бора (HBO₂ — 0,8—1,6 г/кг), что весьма редко встречается в естественных выходах термальных вод. По имеющимся данным, близкие концентрации бора известны в СССР только в источниках Джеты-Огуз на Тянь-Шане (1,1 г/кг) и Кара-Оба на Кавказе (1,9 г/кг). В отложениях углекислых источников (травертин, белые соли, ил) и в породах вблизи последних определяется также весьма большой спектр металлов; содержание некоторых достаточно высокое: Hg — до 0,0002%, Sn — до 0,04% [5]. Обращает на себя внимание повышенное содержание сурьмы (до 0,002%) в озерах Керченского полуострова и наличие в них золота [7]. Сероводородные термальные воды Керченского полуострова, по сравнению с углекислыми, характеризуются меньшим содержанием металлов. В них, по данным спектрального анализа, определяются: Ti, Fe, Al, Ba, Sr, Mn, Pb, Ni, Zr, Hg, Cu. Аналитические определения фиксируются в водах (мг/кг): Sr — до 8, B — до 2, P₂O₃ — до 2, Mp — до 0,3, Cu — до 0,003, Si — до 13,5; Br — до 3 [32].

Термальные хлоридные натриевые соленые воды Горного Крыма, вскрытые в таврических сланцах на глубине 2257 м (г. Ялта), содержат (по данным спектроскопии): Al, Sr, As, Si, Fe, Ti, Mn, Ba, P, Zr, Cu, Pb, W, Cr, Ni, Sn, Ag, La. Характерно, что холодные пресные воды этого района, вытекающие из зон контактов таврических сланцев с изверженными породами, содержат почти тот же спектр металлов [3]. Термальные хлоридные натриевые воды Причерноморского бассейна характеризуются также достаточно широким спектром элементов. В них определяются: Fe, Ti, Mn, Si, Ba, Sr, Cu, Ni, La, Mo, Cr, Zn, I, Br, As, F, Al, Ba, Zr, W, Bi, [1].

В целом сравнительный анализ различных типов термальных и субтермальных вод Крыма по их металлоносности показывает, что все воды характеризуются достаточно обширным спектром металлов и что наиболее обогащены металлами (как по количеству фиксируемых элементов, так и по их концентрациям) углекислые минеральные воды Керченского полуострова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбов С. В. К вопросу о микрокомпонентах подземных вод Крыма. — «Гидрохим. мат-лы», 1963, т. 33, с. 76—81.
2. Альбов С. В. Металлоносность подземных вод Крыма как индикатор разломной тектоники. — «Геофиз. бюл», 1966, № 17, с. 33—35 (Межвуз. ком. при Президиуме АН СССР).
3. Альбов С. В. О микрокомпонентах в водах Чокракского озера на Керченском полуострове. — В кн.: Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР. Киев, 1967, с. 242—244.
4. Альбов С. В. О связи микрокомпонентов в углекислых и сопочных водах и в железорудных месторождениях Керченского полуострова. — «Докл. АН СССР», 1967, т. 175, № 5, с. 1135—1137.
5. Альбов С. В. Об углекислых и сопочных водах северо-восточной части Керченского полуострова. — «Докл. АН СССР», 1967, т. 173, № 5, с. 1166—1169.
6. Альбов С. В. О Керченско-Таманской гидрогеохимической и грязевулканической области. — «Докл. АН СССР», 1971, т. 197, № 1, с. 175—177.
7. Альбов С. В. К вопросу о молодом вулканизме в Керченско-Таманской области. — В кн.: Вулканизм и формирование минеральных месторождений в Альпийской геосинклини. зоне. Новосибирск, «Наука», 1973, с. 109—112.
8. Альбов С. В. О геохимической обстановке в Керченско-Таманской области и близлежащих площадях. — «Докл. АН СССР», 1973, т. 208, № 1, с. 184—187.
9. Бабинец А. Е., Радько Н. И. Микроэлементы в минеральных водах южного склона Советских Карпат. — «Геол. журн. АН УССР», 1956, т. 16, вып. 2, с. 21—29.
10. Врублевский М. И. Минеральные воды Советских Карпат. — В кн.: Гидрогеология и гидрохимия. Изд-во ЛГУ, 1976, с. 106—115.
11. Гавриленко Е. Е., Штогрин О. Д., Щепак В. М. Минеральные и термальные воды Советских Карпат. — В. кн.: Генезис минеральных и термальных вод. М., «Наука», 1968, с. 27—30.
12. Геологическое строение и горючие ископаемые Украинских Карпат. М., «Недра», 1971. 390 с.
13. Геология СССР. Т. 8. М., «Недра», 1974, с. 170—175.
14. Гидрогеология СССР. В 50-ти т. Ред. А. В. Сидоренко. М., «Недра». Т. 5., 1971, 450 с.; т. 8, 1970, 363 с.
15. Голева Г. А. Геохимия подземных вод месторождений полезных ископаемых западных районов Украины. — В кн.: Проблемы геохимии. Вып. I. Изд-во Львовского ун-та, 1959, с. 228—248.
16. Голева Г. А. Минеральные воды Восточных Карпат и Предкарпатья. — В кн.: Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М., 1960, с. 350—382.
17. Голева Г. А. Гидрохимические поиски скрытого оруденения. М., «Недра», 1968. 292 с.
18. Голева Г. А. Закономерности распространения рудных компонентов в термальных водах вулканических областей. — «Бюл. МОИП», 1973, т. 78. Отд-ние геол., т. 48, вып. 2, с. 124—130.
19. Голева Г. А. Редкие элементы в подземных водах Украинских Карпат. — «Сов. геология», 1976, № 4, с. 54—69.
20. Голева Г. А., Бильк Н. А. Генетическая связь углекислых вод Закарпатья с неогеновыми рудопроявлениями. — «Бюл. науч.-техн. информ.», 1963, № 4 / 481, с. 30—34 (ВИЭМС).
21. Голева Г. А., Лушников В. В. Распространение селена в подземных водах рудных месторождений и в некоторых типах минеральных вод. — «Геохимия», 1967, № 4, с. 438—445.
22. Куришко В. А., Месяц И. А., Тердовидов А. С. Гидрохимия грязевого вулканализма Керченского полуострова. — «Геол. журн. УССР», 1968, т. 28, вып. 1, с. 49—59.

23. Лихоманова И. Н., Процевят И. М. Гидрохимическая зональность и микрокомпоненты в подземных водах Равнинного Крыма. — «Геология и геохимия горючих искоцаемых», 1972, № 31, с. 52—55.
24. Лихоманова И. Н., Сулім И. З. О газовой составляющей подземных вод Равнинного Крыма. — «Геология и геохимия горючих искоцаемых», 1975, № 43, с. 46—52.
25. Марус В. И. Углекислые воды Украинских Карпат. — В кн.: Закономерности распределения подземных вод, карст и сели Карпатской зоны. Киев, 1972, с. 42—43.
26. Марус В. И. Гидрогоехимические особенности и условия формирования углекислых вод Советских Карпат. — В кн.: Мат-лы VIII и IX съездов Карпато-Балканской геологической ассоциации. Киев, 1974, с. 283—293.
27. Марус В. И., Волейшо В. О. К вопросу о формировании месторождений углекислых вод восточной части Закарпатья. — В кн.: Вопросы геологии осадочных отложений Украины. Киев, 1972, с. 165—175.
28. Основные типы гидрогоехимических структур СССР. Ред. И. К. Зайцев. Л., 1974. 90 с.
29. Сущик Ю. Я., Марус В. И. Геохимические особенности природных вод Украинских Карпат. — В кн.: Вопросы геологии осадочных отложений Украины. Киев, 1973, с. 180—199.
30. Тердовидов А. С., Чупис Н. Е. Распространение бария и стронция в подземных водах мезокайнозойских отложений Степного Крыма. — «Геохимия», 1971, № 11, с. 1343—1352.
31. Щепак В. М., Гавриленко Е. С. Микроэлементы в подземных водах Предкарпатья. — «Геология и геохимия», 1965, № 3, с. 57—63.
32. Яроцкий Л. А. Об условиях формирования крепких сероводородных вод Керченского полуострова. — «Труды Лаб. гидрогоеол. проблем», 1948, т. 3, с. 245—263.

УДК 550.42 : 546 : 553.7 (575)

Л. Г. Учителева

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПАМИРА И ТЯНЬ-ШАНЯ

Горные системы Памира и Тянь-Шаня располагаются в пределах зоны альпийской складчатости, что во многом определяет особенности их гидрогоехимии, в том числе и металлоносности минеральных подземных вод.

Памирская горная система, наиболее высокая в СССР, окаймлена с севера и юга хребтами Заилийским и Гиндукушем, с запада и востока депрессиями Южно-Таджикской и Таримской. Она представляет собой складчато-глыбовое сооружение альпийского орогенеза, в структуре которого выделяются Северная, Центральная и Южная основные тектонические зоны, отделенные друг от друга глубинными активными разломами [6]. На Северном Памире преимущественно развиты сильно метаморфизованные и дислоцированные палеозойские терригенно-карбонатные, вулканогенные и молассоидные толщи мощностью свыше 10 км. Центральный Памир характеризуется широким развитием мезозойских терригенных, карбонатных и вулкано-

генных отложений мощностью более 9 км, залегающих на палеозойском геосинклинальном комплексе пород. Юго-восточная часть Южного Памира сложена мезозойскими и палеозойскими породами, залегающими на докембрийском складчатом основании, а его юго-западная часть — метаморфическими геосинклинальными образованиями докембрийского возраста. Металлогенез Памира весьма сложная. Наиболее распространенным типом рудной минерализации является молибден-полиметаллическая, широко также развиты редкометальная, олово-вольфрамовая, мышьяк-вольфрамовая [6, 13, 17].

Тянь-Шаньская сложная складчатая система, сформировавшаяся в древние эпохи орогенеза и омоложенная в альпийскую эпоху складчатости, состоит из ряда горных хребтов преимущественно широтного простирания и разделяющих их межгорных депрессий. В пределах Тянь-Шана выделяются три основных структурно-тектонических района — Северный, Срединный и Южный, границами между ними являются зоны глубинных разломов. В пределах Северного Тянь-Шана преобладают допалеозийские метаморфические породы, прорванные гранитами нижнего и верхнего палеозоя. В Срединном Тянь-Шане на сложно дислоцированных кристаллических ниже-среднепротерозойских породах залегает толща метаморфических осадочных и осадочно-вулканогенных отложений верхнего протерозоя и нижнего палеозоя мощностью более 10 км. Ограниченно распространены слабо дислоцированные отложения верхнего и среднего палеозоя. В Южном Тянь-Шане преимущественное развитие имеют формации среднего и верхнего палеозоя мощностью до 6—8 км, и только в его юго-западном районе на докембрийском кристаллическом основании залегают вулканогенно-осадочные отложения верхнего протерозоя. Межгорные депрессии Тянь-Шана выполнены мезозойско-кайнозойскими, часто соленоносными образованиями мощностью более 10 км. Металлогенез горных районов Тянь-Шана характеризуется широким распространением полиметаллической и редкометальной рудной минерализации [6].

В гидрологическом отношении Памирский и Тянь-Шаньский горные районы представляют собой системы сложных складчатых областей, состоящих из систем гидрологических массивов, адмассивов, адбассейнов и межгорных артезианских бассейнов [19]. В пределах зоны выветривания в гидрологических массивах, адмассивах и адбассейнах распространены пресные кислородно-азотные гидрокарбонатные воды различного катионного состава. В зонах глубинных разломов (новейших и обновленных в фазу альпийской складчатости) широко развиты субтермальные и термальные воды глубокой циркуляции, углекислые и азотные различного солевого состава и минерализации. В межгорных артезианских бассейнах распространены термальные воды, разнообразные по минерализации (от пресных до рассолов), солевому и газовому составу.

Термальные воды Памира

Известные многочисленные выходы термальных вод сосредоточены в основном в пределах Южного и Центрального районов, испытавших наиболее сильное влияние альпийского тектогенеза. Приурочены источники к зонам глубинных региональных разломов, к местам пересечения последних глубокими эрозионными врезами; абсолютные отметки выходов источников от 2000 до 4100 м. Температура воды изменяется от 22 до 70° С, в отдельных источниках достигает 90° С. По составу растворенных и спонтанных газов выделяются две группы термальных вод — углекислые и азотные. Азотные воды связаны с толщей вулканогенных и метаморфических пород различного возраста, а углекислые — с палеоген-неогеновыми и четвертичными глубинными магматическими интрузиями.

Минерализация азотных терм не превышает 0,6 г/кг, для углекислых вод она изменяется от 0,4 до 4,0 г/кг. По особенностям солевого состава среди углекислых термальных вод выделяются четыре типа: гидрокарбонатные натриевые, хлоридно-гидрокарбонатные натриевые, гидрокарбонатные кальциевые, сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые. В группе азотных вод наиболее распространены гидрокарбонатно-сульфатные натриевые, сульфатно-гидрокарбонатные натриевые, гидрокарбонатные кальциевые минеральные воды.

Металлоносность термальных вод Памира изучена недостаточно. В опубликованных работах, как правило, встречаются только единичные данные о металлах в составе вод отдельных источников Памира [2, 6—11, 18, 20, 21, 27]. Наиболее представительный материал по данному вопросу содержится в работах С. Р. Крайнова и Н. Г. Петровой [14—16]. Имеющиеся данные о содержании металлов, а также их средних концентрациях в различных типах термальных вод Памира приведены на рисунке и в табл. 1—3. Ниже рассматривается металлоносность основных типов минеральных термальных вод региона.

Углекислые хлоридно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатные натриевые, реже кальциево-натриевые термальные (температура до 65° С) воды широко распространены на Южном Памире. Источники их связаны с древними метаморфизованными толщами Юго-Западного Памира (источники Гарм-Чашма, Даршай), а также известны в юго-восточном его районе (источник Кзыл-Рабат и др.). Формируются эти воды в зонах глубокой (до 700—1200 м) циркуляции, выходы их часто сопровождаются отложениями травертинов [9—11]. Воды в основном солоноватые, минерализация 1,6—3,7 г/кг, величина pH изменяется от 6,4 до 7,0. В солевом составе постоянно присутствуют хлоридные соли (6—30 экв. %), сульфаты (4—20 экв. %). В отдельных источниках зафиксированы высокие концентрации бора и кремнекислоты (до 160 мг/кг HBO_2 и H_2SiO_3). В составе растворенных и спон-

Таблица 1

Металлоносность углекислых субтермальных
и термальных вод Памира (мг/кг)

Номер водопункта на рисунке	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	Li	Sr	Ge	Cu	Zn	As	Mo	Tl	Ag	Pb	Fe	Ni	Al	Mn
<i>Гидрокарбонатные и хлоридно-</i>																
1 а	—	120	2,83	0,8	—	0,009	0,03	—	—	—	—	—	—	0,3**	0,3**	
2	159*	160	2,9—3,5	0,6—0,7	0,06	0,002—0,02	0,02—0,03	0,04—0,06	He обн.	0,09**	—	0,02*	—	—	—	—
3	28*	74	1,7	1	—	0,01	0,04	He обн.	0,002	0,08**	—	—	0,2**	—	0,02**	0,2**
4	75*	160*	0,7	0,5—0,9	0,02	0,002	0,02—	”	С.л.	0,001*	0,001*	0,005*	2,5**	—	0,25**	0,25**
5	120*	120*	1**	0,6	0,008**	0,009**	Нет	”	”	0,08**	0,001*	0,03*	0,1**	—	0,1**	0,1**
6	44*	30*	1,35	0,035	—	0,008**	0,08	0,008	—	0,03*	—	0,02	0,25**	—	2,5***	0,2**
7	—	—	2,8	0,8	0,05	Нет	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	42*	45*	25**	—	—	0,009**	—	0,3—0,5	—	0,03*	—	—	0,25**	—	2,5**	2,5**
			0,04*	0,01	—	0,03*	0,01*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			14**	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Гидрокарбонатные и сульфатно-</i>																
9	—	120*	0,05	He обн.	—	He обн.	0,02	He обн.	He обн.	0,01*	0,001*	С.л.	1	—	—	—
10	58*	60*	0,1	0,4	—	0,002	0,02—0,04	0,01	0,002	—	—	—	—	0,001*	—	—
11	8*	46	0,05	Нет	—	0,002	0,12	0,001	0,002	0,01*	0,001*	—	—	0,001*	—	—
12	17*	81	1,75	1	—	Нет	0,03	0,008**	0,008**	0,03*	0,001*	0,001	1,3**	0,002*	0,1**	—
13	15*	45*	0,07	He обн.	—	0,008**	0,02	—	Нет	0,03*	0,002*	—	18*	0,002*	—	—
14	15*	92*	2*	0,01*	—	0,012	—	—	—	0,08**	—	—	2**	—	—	—
15	11*	82*	0,2	0,3—0,4	—	0,005	Нет	0,001	0,03**	0,003*	—	0,02*	1,5**	—	0,1**	0,01**
16	—	30	1,5**	0,3—0,4	—	0,03**	—	0,2	0,002	—	—	—	8*	—	—	—
17	35*	43,5*	0,01*	0,01*	—	0,05	0,7	0,25	0,002	0,01*	—	—	—	—	—	—
18	20	72	—	—	0,01	He обн.	0,08	0,001*	0,001*	0,02*	—	—	2*	0,002*	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	0,002	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1 а — источник Ширгин. Кроме того, установлено (мг/кг): F — 4, Br — 6; (мг/кг): F — 2,8, V — 0,008 **; 4 — источник Гарм-Чашма (мг/кг): F — 1,2—6, без (мг/кг): F — 4; 6 — источник Бахмыр (мг/кг): F — 7,5, Br — 2, I — сл., ник Михман-Джулы (мг/кг): Be — 0,008 **; 16 — источник Ширгин (мг/кг): Авдж (мг/кг): F — 4,4, Br — 0,6; 11 — источник Баршор (мг/кг): F — 0,2, 13 — источник Жунт (мг/кг): Br — 0,1 *, V — 0,008 **, Fe — 21 *, Co — 0,001; (мг/кг): F — 1; 16 — источник Кызыл-Рабат; 17 — источник Абхарв (мг/кг):

Примечание. Приведены данные: * Я. Я. Сердюк, 1965 г.; ** П. И. Н. Г. Петровой [14—16].

2 — источник Лянгар (мг/кг): F — 5—7,5, Br — 1,6—3; 3 — источник Даршай Br — 0,6—1,5, I — сл., HPO₄ — 0,2 **, K — 84 ***; 5 — источник Джарты-Гум-Рб — 1, Cs — 1,1; 7 — источник Мужиташи (мг/кг): F — 7, Br — 0,5; 8 — источник Fe — 0,6, Br — 0,6; 9 — источник Инив (мг/кг): Br — 0,6—1; 10 — источник Br — 1,2, I — 0,4, V — 0,008 **; 12 — источник Сист (мг/кг): F — 0,6, Br — 0,2; 14 — источник Хоз-Гуни (мг/кг): F — 1,4, Br — 0,6—1,2; 15 — источник Новый Br — 0,1 *; 18 — источник Чурж.

Иванова, 1965 г.; *** В. Н. Дислера, 1971 г.; остальные — С. Р. Крайнова,

Таблица 2

Металлоносность азотных термальных вод Памира (мг/кг)

Номер водо-пункта на рисунке	H_2SiO_3	HBO_3	Li	St	F	Cu	Zn	As	Mo	W	Tl	Pb	Ni
<i>Гидрокарбонатно-сульфатные</i>													
19	34—52	2*	0—0,18 0,3**	Не обн.	17,5—20	0,003—0,008	0,04—0,16	0—0,04	0,008 0,001**	0,04—0,14	0,02*	0,005*	—
20	108	10,6*	0,38	0,005*	20	0,002 0,008**	0,08	Не обн.	0,008	0,3	0,003* 0,07**	0,02*	0,008**
21	41	—	—	—	0,4	—	0,02*	—	—	—	—	0,007*	—
<i>Сульфатно-гидрокарбонатные</i>													
22	33	2*	0,18 3**	Не обн.	10	0,025 0,009**	0,14	0,01	0,008	0,04	0,002* 0,09**	—	0,001*
23	7,5—10	—	0,07	0—0,03*	10	Не обн.	0,1	Не обн.	0,012*	0,08	0,006*	0,01*	—
24	—	—	1,35	0,4	15	"	—	0,001	Не обн.	0,03—0,3	—	—	—
25	110*	9,6*	0,07*	0,02*	—	0,3*	0,04*	—	—	—	—	—	0,08
26	28	1,9	0,08	0,01	—	0,003	0,01	—	0,02	—	0,01	—	0,002
<i>Гидрокарбонатные</i>													
27	24*	—	0,01*	0,02*	—	—	0,1 0,001*	0,001*	0,002*	—	0,002*	—	0,001*
28	6	—	0,02	0,04	—	0,03	0,016	0,001	0,02	—	0,06	0,01	0,01
29	22	2,1	0,01	0,02	7	0,02	0,01	1	0,001	—	0,008	—	0,005

19 — источник Токуз-Булак. Кроме того, установлено (мг/кг): Ga — Br—0,04; 20 — источник Яшиль-Куль (мг/кг): Ge—0,02, Al—0,2 **, Fe—0,2 **, источник Кой-Тезек (мг/кг): Al—0,3 **, Fe—0,3 **, Br — не обн.; 23 — источник Сык-Булак; 26 — источник Сасык-Булак; 27 — источник Хан-Юлы; 28 — источник Со — 0,004, Br — 0,5.

Примечание. Приведены данные: * Я. Я. Сердюк, 1965 г.; ** П. И.

0,001 **, Ge — 0,001 **, Ge — 0,02, Mn — 0,003 **, Al — 0,03 **, Fe — 0,3 **, Ag — 0,008 **, I — 0,04, Br — не обн.; 21 — источник Ямчин (мг/кг): Br — 0,2 *; 22 — источник Джиланды (мг/кг): Br — 0,01; 24 — источник Ели-Су; 25 — источник Искендер Акташ (мг/кг): Ag — 0,02, Co — 0,01; 29 — источник Тмеаша (мг/кг): Co — 0,004, Br — 0,5.

Иванова, 1965 г.; остальные — С. Р. Крайнова, Н. Г. Петровой [14—16].

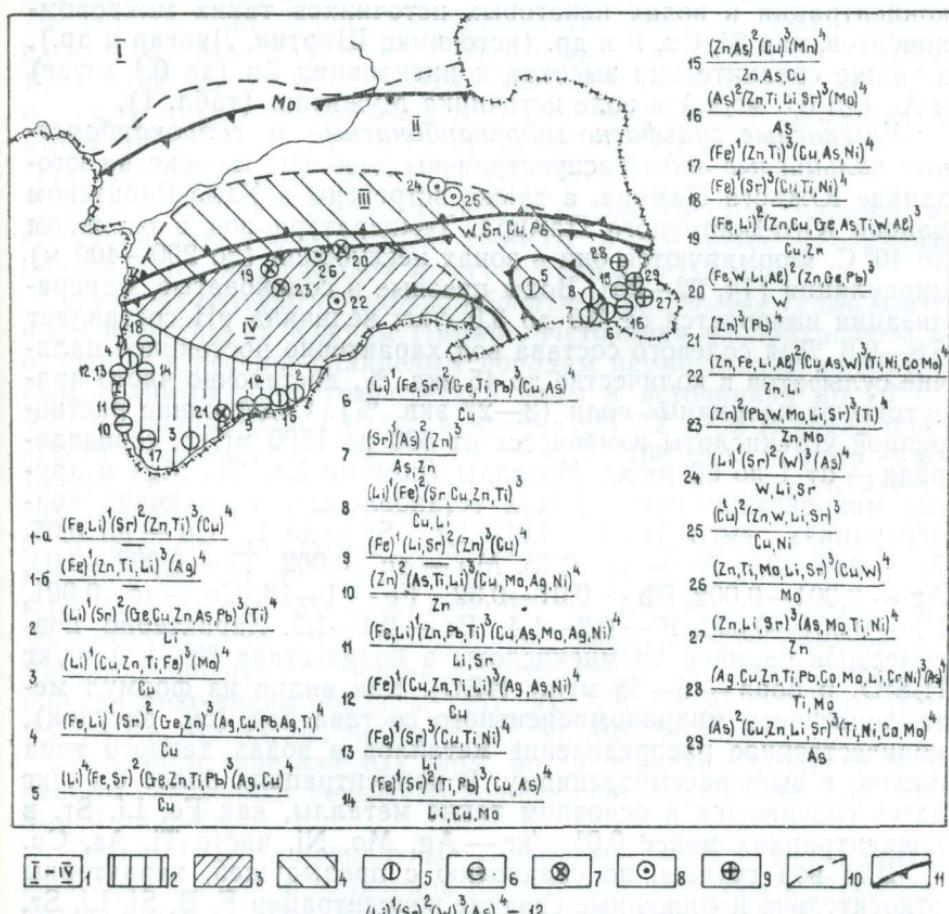
Таблица 3

Обобщенные данные о содержании микрокомпонентов в различных типах термальных вод Памира

Микрокомпоненты	Углекислые гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые				Углекислые гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые				Азотные гидрокарбонатно-сульфатные натриевые				Азотные сульфатно-гидрокарбонатные натриевые			
	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг		Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг		Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг		Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное			среднее	максимальное			среднее	максимальное			среднее	максимальное
Sr	9	100	0,7	1	7	60	0,3	1	5	Не обн.	—	—	8*	100	0,07	0,4
Li	9	100	2,3	3,5	8	100	0,4	1,7	3	100	—	0,4	8*	100	0,2	1,3
Cu	13	40	0,001	0,01	14	75	0,006	0,05	7	75	0,014	0,08	7*	35	0,05	0,3
Pb	4	100	0,02	0,03	3*	—	—	0,02	3*	100	—	0,02	2*	100	—	0,01
Zn	12	100	0,05	0,2	12	75	0,09	0,7	8	100	0,07	0,16	7*	100	0,04	0,14
As	11	55	0,09	0,5	12	65	0,04	0,25	7	20	—	0,04	6*	80	0,17	1
Ag	2*	100	—	0,001	4*	100	0,001	0,002	—	—	—	—	—	—	—	—
Mo	8	25	—	0,002	11	65	0,001	0,002	7	100	0,008	0,008	6*	100	0,006	0,012
W	—	—	—	—	—	—	—	—	7	100	0,13	0,3	4	100	0,1	0,3
Ge	5	100	0,04	0,06	—	—	—	—	2	100	—	0,02	—	—	—	—
Ni	—	—	—	—	7*	100	0,001	0,002	—	—	—	—	6*	100	0,016	0,08
Ti	4	100	0,016	0,03	9*	100	0,012	0,03	2*	100	—	0,02	6*	100	0,014	0,06
Fe	—	—	—	—	8*	100	7,5	18	—	—	—	—	—	—	—	—
F	12	100	4,1	7,5	9	90	1	2,5	7	100	19	20	5	100	11	15
B (HBO_2)	7*	100	51	159	9*	100	20	58	2*	100	—	10	4*	100	4	10
Si (H_2SiO_3)	8	100	92	160	11*	100	65	120	6	100	33	108	7*	100	32	108
Br	10	100	2	6	12	90	0,5	1,2	7	70	0,03	0,2	3	66	—	0,5
I	11	20	—	Сл.	11	10	—	0,4	7	30	0,007	0,04	2	Не обн.	—	—

Примечание. Для расчета использованы материалы С. Р. Крайнова, Н. Г. Петровой [14—16], а также данные из диссертации Я. Я. Сердюк (*).

танных газов преобладает CO_2 (до 99%), количество растворенной углекислоты изменяется от 250 до 1500 мг/кг. Для вод характерно повсеместное присутствие сероводорода в количестве до 40 мг/кг. В данном типе вод помимо Na, Ca, Mg установлены также следующие металлы (мг/кг): Li — до 25, Sr — до 1, Ge — 0,02—0,06, Zn — 0,01—0,1, Cu — 0,002—0,003, As — 0,008—0,5, Mo — до 0,002, Ti — 0,001—0,03, Pb — 0,005—0,03, Rb — до 1, Cs — до 1,1, Fe — до 2,5, Ag — до 0,01.



Схематическая карта термальных вод Памира (с данными о металлоносности).

1 — структурно-тектонические зоны Памира (по Б. П. Бархатову): I — Северная, II — Центральная, III — Южная (III — Юго-Западная, IV — Юго-Восточная); 2—4 — провинции термальных вод: 2 — углекислых разного солевого состава, 3 — преимущественно азотных разного солевого состава, 4 — углекислых и азотных разного солевого состава;

5—9 — проявления термальных вод: 5 — углекислых хлоридно-гидрокарбонатных и гидрокарбонатных натриевых, 6 — углекислых сульфатно-гидрокарбонатных и гидрокарбонатных кальциевых, 7 — азотных гидрокарбонатно-сульфатных натриевых, 8 — азотных сульфатно-гидрокарбонатных и гидрокарбонатных кальциевых;

10 — границы структурно-тектонических зон; 11 — глубинные разломы;

12 — формула металлоносности вод.

Обобщенная формула металлоносности вод рассматриваемого типа может быть выражена следующим образом: (Fe, Sr, Li)¹ (Rb, As, Sr, Fe)² (Ge, Zn, Cu, Ag, Mo, Ti, Pb, Fe, As, Li)³ (Cu, Ag, Mo, Pb, Ti, As)⁴. Как видно из формулы, для вод характерны относительно повышенные концентрации Sr, Li, Fe и весьма низкие (в основном менее 0,01 мг/кг) — Mo, Cu, Ag, часто Ti, As. Остальные металлы содержатся в водах в концентрациях преимущественно 0,01—0,1 мг/кг. Обращают на себя внимание относительно повышенные, по сравнению со средними, концентрации в водах некоторых источников таких микрокомпонентов, как Si, Cu, F и др. (источники Ширтин, Лянгар и др.), а также сравнительно высокая концентрация Zn (до 0,1 мг/кг) и As (до 0,5 мг/кг) в воде источника Мужиташ (табл. 1).

Углекислые сульфатно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатные кальциевые воды распространены довольно широко на юго-западе Южного Памира, а также встречены в Кзыл-Рабатском районе Юго-Восточного Памира. Температура вод в основном до 40° С. Формируются они в зонах неглубокой (до 200—400 м) циркуляции [14, 22—25]. Воды пресные и солоноватые, минерализация изменяется от 0,3 до 3,0 г/кг; величина pH составляет 5,8—6,6. Для солевого состава вод характерно постоянное наличие сульфатов в количестве до 45 экв. %, достаточно часто присутствуют хлоридные соли (3—27 экв. %). Содержание растворенной углекислоты изменяется от 500 до 1500 мг/кг, сероводорода — от 1 до 60 мг/кг. Металлы (помимо Na, Ca, Mg) и другие микрокомпоненты в водах установлены в следующих концентрациях (мг/кг): Li — 0,01—1,7, Sr — до 1, Cu — до 0,05, Zn — 0,08—0,7, As — до 0,25, Mo — до 0,002, Ti — 0,002—0,03, Ag — 0,001—0,002, Pb — 0,01—0,02, Fe — 1—18, Co — до 0,001, Ni — 0,001—0,002, F — 0,2—1,4, Br — 0,1—1,2. Характерно повсеместное наличие кремнекислоты в количествах 30—120 мг/кг H₂SiO₃ и бора — 8—58 мг/кг HBO₂. Как видно из формул металлоносности микрокомпонентного состава вод (см. рисунок), количественное распределение металлов в водах данного типа близко к вышерассмотренному. В концентрациях более 0,1 г/кг здесь содержатся в основном такие металлы, как Fe, Li, Sr, в концентрациях менее 0,01 г/кг — Ag, Mo, Ni, часто Ti, As, Cu.

Для вод группы, по сравнению с предыдущей, характерны относительно пониженные средние концентрации F, B, Si, Li, Sr, As, Br и несколько повышенные — Zn и Cu (табл. 3). Аномально повышенные концентрации ряда металлов отмечаются в водах источников Сист (Cu — 0,012 мг/кг), Новый (Cu — 0,05 мг/кг, Zn — 0,7 мг/кг, As — 0,2 мг/кг), Кзыл-Рабат (As — 0,25 мг/кг), Хоз-Гуни (Mo — 0,03 мг/кг, Ti — 0,8 мг/кг), Баршор (Sr — 1 мг/кг, Li — 1,75 мг/кг).

Азотные гидрокарбонатно-сульфатные натриевые термальные воды известны на юго-востоке Памира, где источники их чаще всего приурочены к гранитоидам послетриасового возраста. Во-

ды этого типа формируются на значительных глубинах [6, 22—24]. Они характеризуются весьма высокой температурой (до 90° С), низкой минерализацией (0,2—0,8 г/кг), значениями величины pH от 7,4 до 8,5. Для них также характерны весьма высокие концентрации фтора (до 20 мг/кг или 13—31 экв. %) и вольфрама (до 0,3 мг/кг), относительно пониженные содержания бора (до 11 мг/кг H₂BO₃). В газовом составе вод в незначительных количествах содержится углекислота (1—20 мг/кг) и сероводород (до 13 мг/кг). По немногочисленным данным, в водах помимо Na, Ca и Mg установлены следующие металлы (мг/кг): Li — до 0,4, Cu — 0,002—0,008, Sr — до 0,005, Zn — 0,04—0,16, Mo — до 0,008, W — 0,04—0,3, Ti — 0,002—0,003, Pb — 0,005—0,02, As — до 0,04. Обобщенная формула металлоносности микрокомпонентной составляющей вод данного типа имеет вид: (Fe, Li, Al, W)² (Cu, Zn, Ge, As, Ti, W, Pb, Al)³ (Ga, Ge, Mn, Mo, Ag, Sr, Ni, Ti, Cu, Pb)⁴.

Кроме того, в термах данного типа повсеместно содержится кремнекислота (30—100 мг/кг H₂SiO₃), в отдельных источниках определяется йод (до 0,04 мг/кг) и бром (до 0,2 мг/кг).

Азотные сульфатно-гидрокарбонатные натриевые термальные воды известны на Южном Памире. Источники их приурочены в основном к песчано-сланцевым породам пермо-триаса, прорваным гранитоидами. Температура воды в источниках до 70° С, минерализация 0,1—1,1 г/кг, величина pH 7,2—7,3. В водах существует кремнекислота в количестве 7—108 мг/кг и фтор — до 10—15 мг/кг. В газовом составе вод в незначительных количествах определяется сероводород (до 10 мг/кг) и углекислота (до 23 мг/кг). Из металлов в микрокомпонентном составе вод установлены (мг/кг): Li — до 1,3, Sr — до 0,4, Cu — до 0,3, Zn — до 0,16, As — до 0,01, Mo — до 0,01, W — до 0,3, Ti — до 0,01, Pb — до 0,01, Ni — до 0,08. Обобщенная формула металлоносности микрокомпонентного состава данного типа вод может быть выражена следующим образом: (Li)¹ (Li, Zn, Fe, Al, Cu, Sr)² (Cu, As, W, Pb, Mo, Li, Sr, Ni, Zn)³ (Ti, Ni, Mo, As, Cu)⁴.

В данном типе азотных терм, по сравнению с вышерассмотренным, несколько повышенено содержание таких металлов, как Mo, W, Zn, Cu.

Азотные гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией 0,1—0,5 г/кг и величиной pH 6,8—7,4 известны в Кзыл-Рабатском районе Юго-Восточного Памира. Воды теплые (температура от 22 до 32° С), содержат незначительное количество углекислоты (10—38 мг/кг) и кремнекислоты (6—24 мг/кг). Из металлов помимо Ca, Na и Mg в водах фиксируются (мг/кг): Li — до 0,02, Sr — до 0,04, Cu — до 0,02, Zn — до 0,1, As — до 1, Mo — до 0,02, Ti — до 0,06, Pb — до 0,01, Ni — до 0,01.

Как видно из имеющихся данных, термальные минеральные воды Памира содержат большой комплекс микрокомпонентов, в том числе и металлов. Это элементы породообразующих мине-

ралов — Si, Ti, Sr, Br; элементы полиметаллической минерализации — Zn, Cu, Ag, Pb, Ni; элементы редкометальной минерализации — Mo, Li, Ge, W, Co, As, Be, Ga [14—16]. Как правило, во всех типах термальных вод региона такие элементы, как Ag, V, Be, Ga, Mo, Ge, Ni, Co, часто Cu, Ti, As, Pb, содержатся преимущественно в концентрациях менее 0,01 мг/кг. Содержание остальных элементов изменяется в основном от 1 до 0,01 мг/кг, и только в отдельных типах вод концентрация Li, Fe, Rb, Cs, Mn, Al превышает 1 мг/кг.

Полученные нами расчетные данные о возможных средних концентрациях ряда металлов в термах Памира (табл. 3) близки к аналогичным данным в целом по минеральным водам Южного Памира, приводимым П. И. Ивановым и С. А. Григорьевой (табл. 4).

Таблица 4

Средние концентрации (мг/кг) некоторых элементов
в минеральных водах Памира
(по данным П. И. Иванова, С. А. Григорьевой, 1966)

Элементы	Западный Памир (4 определения)	Восточный Памир (31 определение)	Северный Памир (4 определения)
Zn	—	0,1	0,009
Cu	0,09	0,015	0,01
Ag	—	0,0007	0,003
Ga	—	0,0009	—
Ba	—	0,002	—
Ni	0,009	0,007	—
Mo	—	0,002	0,003
Li	0,4	0,7	0,9
La	0,05	0,09	0,8
Ge	0,001	0,001	—
Mn	0,4	0,1	0,8
Ti	0,03	0,1	0,1
Sr	0,04	0,2	0,3
Zr	—	0,00006	—
V	—	0,00005	—
Be	—	—	0,006

Сравнительный анализ металлоносности различных групп и типов термальных вод Памира показывает, что углекислые и азотные воды значительно отличаются по концентрациям многих содержащихся в них микроэлементов, в том числе и металлов. Для группы углекислых вод в целом характерны относительно повышенные концентрации Si, B, Br, Sr, Li, As, их средние величины превышают таковые в азотных термах в 2—10 раз.

Повышенные концентрации Li, Sr, Br в углекислых водах, возможно, обусловлены более высокой их минерализацией. Как известно, эти элементы в минерализованных водах бассейнов

накапливаются с ростом минерализации. Этую же зависимость для Li, Rb, Cs отмечал С. Р. Крайнов в углекислых водах Кавказа [15]. Он фиксировал также в углекислых водах Памира относительно высокие концентрации цезия (до 1,15 мг/кг), отмечая это как пример того, что «повышенные концентрации данного металла в редких случаях накапливаются в углекислых термальных водах горно-складчатых областей и вне зон современного и позднечетвертичного магматизма» [15, с. 139].

Сопоставление обобщенных данных о металлоносности различных типов углекислых вод показывает, что в наибольших концентрациях здесь содержатся такие металлы, как Li, Sr, и в наименьших — в основном Cu, Ag, Mo, Ni. Содержание в водах остальных металлов колеблется в пределах 0,01—0,1 мг/кг. В то же время углекислые воды хлоридно-гидрокарбонатного натриевого типа отличаются от углекислых сульфатно-гидрокарбонатных натриевых вод более высокими средними концентрациями Si, B, F, Br, Sr, Li, As и несколько более низкими — Zn и Cu. В отдельных источниках углекислых термальных вод концентрации Zn (0,2—0,7 мг/кг, источники Новый, Авдж) и As (0,2—0,5 мг/кг, источники Мужиташ, Қызыл-Рабат) более чем в 10 раз превышают средние концентрации этих элементов в данной группе вод. Эти и другие выявленные аномалии вынесены на схематическую карту металлоносности термальных вод Памира (см. рисунок). Следует отметить, что для термальных углекислых вод Памира и для образованных ими травертиновых отложений характерно отсутствие или малое содержание в их составе железа [9—11].

Азотные термальные воды Памира, по сравнению с углекислыми, относительно обогащены F, Cu, W, Mo. Средние концентрации F, Mo, Cu в 5—10 раз превышают таковые в углекислых термах района, а W в последних вообще не обнаружен. Вопросы накопления и миграции W и F в термальных азотных водах обстоятельно рассмотрены С. Р. Крайновым [15], который связывает их повышенные концентрации с наличием благоприятной для миграции щелочной натриевой среды и обогащенностью водоемещающих пород данными компонентами. В отдельных источниках в азотных термах также наблюдаются весьма высокие концентрации Mo (до 0,02 мг/кг, источник Сасык-Булак) и Cu (до 0,3 мг/кг, источник Иссык-Булак), в 10 и более раз превышающие их средние концентрации в данном типе вод.

Сравнение металлоносности термальных вод Памира с металлоносностью аналогичных по газовому и солевому составу типов термальных вод других складчатых областей СССР, в частности Кавказской, Саяно-Алтайской, Тянь-Шаньской, показывает, что в целом углекислые воды Памира характеризуются более высокими средними концентрациями таких элементов, как Pb, As, а азотные воды содержат относительно повышенные концентрации Zn, Ge, Pb, W, Li. Как отмечалось выше, металло-

носность водовмещающих пород Памира весьма разнообразна, что нашло свое отражение и в металлоносности подземных термальных вод. Комплекс металлов, содержащихся в термах Памира в относительно повышенных концентрациях, в основных чертах отвечает таковому в металлогенических зонах региона [13].

Термальные воды Тянь-Шаня

Характерной особенностью Тянь-Шаньской сложной гидрографической складчатой области является широкое распространение маломинерализованных азотных терм (акротерм) и практически полное отсутствие термальных углекислых вод.

Азотные термы распространены как в гидрографических массивах, где выходы их фиксируются на абсолютных отметках от 900 до 2500 м, так и в межгорных бассейнах Иссык-Кульском, Джумгольском и др., где они вскрываются на глубинах до 500 м и более. Очаги разгрузки азотных терм приурочены к активным тектоническим зонам, развившимся в неоген-четвертичное время над зонами глубинных древних разломов в палеозойских метаморфических и изверженных породах. Главнейшие проявления термальных вод приурочены к северным склонам хребтов Киргизского и Терской-Алатау, южному склону Гиссарского хребта. В частности, вдоль Гиссарского хребта выделяется широкая тектоническая зона Гушаринского разлома, к которой приурочены наиболее высокотемпературные минеральные воды и пары (источник Ходжа-Оби-Гарм с температурой до 98° С). В Северном Тянь-Шане азотные термы чаще приурочены к зонам разломов, отделяющих горные хребты от межгорных впадин. Предполагаемая глубина циркуляции азотных терм до 800—2000 м [2].

В пределах межгорных и внутригорных бассейнов помимо азотных терм широко развиты термальные азотные и метановые минерализованные воды, сероводородные воды мацестинского типа, высококонцентрированные хлоридные натриевые рассолы. В частности, в Ферганском бассейне, выполненном мощными (до 5 км) рыхлыми мезозойско-кайнозойскими осадками, вскрыто более пяти типов различных по составу термальных вод [3, 4, 6].

Азотные термальные воды, выходящие из изверженных и древних метаморфических пород, характеризуются минерализацией 0,3—0,7 г/кг, в более молодых отложениях минерализация терм изменяется от 0,6 до 12 г/кг. Состав вод разнообразный: гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные, хлоридные, хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные натриевые; преобладающее развитие имеют воды двух последних типов. Отметим, что практически во всех гидротермах региона присутствует

сульфат-ион (10—65 эк. %). Кроме того, характерной особенностью вод является относительно высокое содержание в солевом составе хлоридных соединений (до 20—36 экв. %). Воды слабо-кислые и щелочные, pH изменяется от 6,5 до 9,5. В составе растворенных и спонтанных газов преобладает азот (98—100%), в воде отмечается незначительное количество сероводорода. Отдельные источники характеризуются высокими концентрациями радона (до 900 эман, источник Джеты-Огуз). Весьма редко в Тянь-Шаньском регионе встречаются углекислые, близкие к субтермальным воды с температурой 13—19° С. В частности, они известны в долине р. Зидды на южном склоне Гиссарского хребта, вблизи очагов разгрузки холодных источников Санг-Хок; на юго-западном склоне Ферганского хребта (источник Аркар-Шор, хлоридный натриевый, с минерализацией 14 г/кг); в Киргизском хребте Северного Тянь-Шаня (источник Джартыш).

Необходимо отметить, что материалы изучения углекислых вод Тянь-Шаня и их травертиновых образований показывают, что в недалеком прошлом регион характеризовался широким развитием очагов разгрузки термальных углекислых вод. Весьма убедительные доказательства этого положения приводит В. Н. Дислер, изучавший состав вод и травертиновые отложения углекислых холодных и термальных источников Памира и Тянь-Шаня [10, 11]. Учитывая вышесказанное, а также слабую изученность минеральных вод Тянь-Шаня, можно полагать, что в отдельных его районах возможно обнаружение термальных и субтермальных углекислых вод.

Сведения о металлоносности микрокомпонентной составляющей термальных вод Тянь-Шаньского региона весьма малочисленны, они касаются в основном металлоносности азотных терм. К настоящему времени разрозненные данные о содержании металлов в азотных термальных водах Тянь-Шаня можно найти в опубликованных работах [1—12, 15, 18, 20, 21, 25—27]. Анализ этих материалов показывает, что в наиболее высоких концентрациях в водах содержатся F, K, B, иногда Sr, Al, Fe. Содержание большинства металлов колеблется в пределах 0,01—0,1 мг/кг. Такие металлы, как Mo, Co, Pb, Rb, Ni, Cu, преимущественно фиксируются в водах в концентрациях менее 0,01 мг/кг (табл. 5).

Л. Н. Барабанов и В. Н. Дислер [2], изучая закономерности размещения азотных терм на территории СССР, отмечали, что термальные воды Тянь-Шаньского региона в относительно повышенных концентрациях содержат Fe, Mn, Al, Ti (до $n \cdot 10^{-1}$ мг/кг) и близки по концентрациям этих элементов к азотным термам Кавказа и Прибайкалья. По данным этих же авторов, концентрации тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu) в термах Тянь-Шаня не превышают $n \cdot 10^{-2}$ мг/кг и близки к таковым терм Тувы и Приморья. По данным Н. И. Катаевой и др. [20], в термах Тянь-Шаня химическим путем обнаружены Fe, Mn, F, Br,

Таблица 5

Металлоносность азотных термальных вод Тянь-Шаня (мг/кг)

№ п/п	H ₂ SiO ₃	F	K	Sr	Fe ²⁺	Al ³⁺	Mn
1	41—60	6,6	64	—	(Не обн.)	(0,14)	—
2	46	7,4	0,9	Не обн.	"	(0,03)	(Не обн.)
3	100—144	15—20	5,2	(0,1)**	"	(0,1)**	(0,08—0,2)***
	110*	26*		(0,4—0,8)***	0,2—1,5*	(4,1)***	
4	40—54	11—16	1,7	—	Не обн.	(0,05)	(0,1)
5	44	5	6,9	1,5	Сл.	(Не обн.)	(Не обн.)
6	—	16,2	—	—	—	—	—
7	52	9	4,5	—	Не обн.	(Не обн.)	(Не обн.)
8	56	14	3,4	Не обн.	5"	"	"
9	15—22	7	1,7	—	—	—	—
10	25	0,4	13,3	—	0,3	(0,06)	(0,03)
11	16—29	1,2	Сл.	—	Не обн.	(Не обн.)	(Не обн.)
12	31	4	3—51	—	0—0,6	(0,03—0,1)	(0,02—0,08)
13	25—47	1,6	6	—	Не обн.	(0,03)	(0,02)

Продолжение табл. 5

№ п/п	Cu	Pb	Zn	Ti	HPO ₄	HVO ₂	As
1	—	—	—	—	—	2	(Не обн.)
2	0,03	(0,01)	(Не обн.)	(Не обн.)	0,2	Не обн.	"
3	(0,005)**	(Не обн.)	(0,01)	(0,04)	Не обн.	До 100	"
	(0,02—0,4)***			(0,01)**	0,1****		
4	(Сл.)	(Сл.)	(Сл.)	(Не обн.)	Не обн.	Не обн.	(0,2)
5	(Не обн.)	—	—	—	0,04	1,8	(Не обн.)
6	—	—	—	—	—	—	—
7	(Сл.)	(0,01)	(0,07)	—	Не обн.	1,8	(Не обн.)
8	(Не обн.)	—	—	—	—	5,5	"
9	(Сл.)	(Сл.)	(Сл.)	(Не обн.)	—	Не обн.	"
10	(0,002)	(0,004)	(0,08)	(Сл.)	—	1,6	"
11	(Сл.)	(Сл.)	(0,03)	—	0,1****	Сл.	"
12	—	(0,002)	(0,02)	(0,01)	0,002	32—2100	(0,02)
13	(Сл.)	(Сл.)	(Сл.)	Не обн.	Не обн.	2	Не обн.

1 — курорт Иссык-Ата, скважина; 2 — Алма-Арасан, скважина. Кроме того, установлено (мг/кг): Rb — (0,008), Li — 0,02; 3 — Ходжа-Оби-Гарм, скважина (мг/кг): Ba — (0,02—0,08) ***, Ba — (0,005) **, Cr — (0,005) **, Mo — (0,02) *, W — 0,2 *; 4 — курорт Ак-Сы, скважина: Rn — 330 эман, Cr — (0,02—0,08) мг/кг ***, Cd — (0,4) мг/кг ***, Li — (0,4—4) мг/кг ***, 5 — источник Барлык-Арасан (мг/кг): Ni — (0,04), Cs — (0,016), Li — 0,25; 6 — источник Алтын-Арасан (мг/кг): Ge — (0,01), W — (0,12), Mo — (0,05); 7 — курорт Оби-Гарм, скважина; 8 — Копал-Арасан, скважина (мг/кг): Rb — (0,06), Li — 0,3; 9 — курорт Джергалан, скважина; 10 — курорт Джалаал-Абад, скважина (мг/кг): Co — (0,0006), Ni — (0,003); 11 — Сары-Агач, скважина; 12 — курорт Джеты-Огуз, скважина (эман): Rn — 900; 13 — Ташкент, скважина.

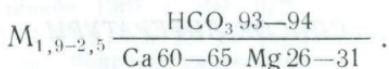
Приложение. Приведены данные: * С. Р. Крайнова [15]; ** Н. А. Воронковой, 1957 г.; *** Л. С. Гордиенко, А. А. Мальцева [7]; **** Н. И. Катаевой и др. [20]; остальные — Л. Н. Барабанова, В. Н. Дислера [2].

HBO_2 , а спектральным — Cu, W, Mo, Li, Ba, Sr, Al, Ti. Авторы отмечали, что для вод в целом характерны повышенные концентрации фтора и достаточно низкие — бора. Е. В. Посохов и С. К. Калинин [21] в термах северных районов Тянь-Шаня отмечали наличие Mo, Cu, Pb, Mn и других металлов. По данным С. Р. Крайнова [15], акротермы Тянь-Шаня характеризуются высокими содержаниями фтора (до 20 мг/кг), вольфрама (до 0,2 мг/кг), относительно повышенными — цезия (до 1,12 мг/кг). Повышенные концентрации вольфрама в акротермах Тянь-Шаня он связывает с относительной обогащенностью данным элементом гранитоидов региона. В частности, источник Ходжа-Оби-Гарм, где содержание W составляет 0,2 мг/кг, приурочен к гранитоидам Варзобского массива, характеризующегося рудо-проявлениями и месторождениями вольфрама. Здесь же установлены флюоритовые проявления и месторождения, что находит свое отражение и в повышенной фтороносности вод источника Ходжа-Оби-Гарм (до 26 мг/кг).

Как уже отмечалось, азотные термальные воды встречаются и в межгорных впадинах. Примером таких вод являются Джеты-Огузские источники, приуроченные к Каракольской термальной линии и представляющие собой очаги разгрузки глубоко залегающих подземных вод Иссык-Кульской впадины. Высокая минерализация вод обусловлена наличием в отложениях впадины галогенных формаций.

Эти воды детально изучались В. Н. Васильевой [5], данные об их металлоносности приведены в табл. 6. По сравнению с азотными термами гидрогеологических массивов, они значительно обеднены фтором, но характеризуются достаточно высокими концентрациями K, Mn, Co, Al, Zn и некоторых других элементов.

О характере металлоносности близких к субтермальным углекислых вод можно судить по материалам изучения источников Джарташ. Эти источники расположены на высоте 2400 м над уровнем моря и характеризуются следующим составом:



По данным В. К. Кадырова и К. Казиева [12], в водах обнаружено (мг/кг): K — 3,5—8,2, Sr — 0,5—0,8, Fe^{+2} — 8—10, Al — 0,02—0,05, Mn — 0,9—1, Cu — 0,002—0,006, Ni — 0,002—0,004, Co — 0,002, F — 0,7—0,9, Br — 0,9, I — 0,2, H_2SiO_3 — 42—76, H_3AsO_3 — 0,01—0,02, HBO_2 — 12—16. Содержание растворенной в воде CO_2 составляет 2,7 г/кг. Авторы также отмечают стабильность температуры вод источников в течение года (12—13,5° С).

В заключение можно отметить, что металлогеническая характеристика азотных терм Тянь-Шаня отражает в основном

Таблица 6

Данные о содержании металлов и других элементов в Джеты-Огузских азотных термальных водах

Компоненты	Содержание, мг/кг	
	по данным В. Н. Васильево- вой [5]	по данным Н. И. Катаевой и др. [20]
K ⁺	37—118	3—51
Sr ²⁺	3,1	—
Fe ²⁺	0—6,2	0—0,6
Mn ²⁺	0—1,4	0,02—0,08
Ni ²⁺	0,001	—
CO ²⁺	0,004	0,03—0,1
F ⁻	1,1	4
Br	1,8—3,6	0,9—3,6
Ti	—	0,01
I ⁻	0,2—0,4	0,9
Zn	—	0,02
HPO ₄	0,06	0,002
Pb	—	0,002
H ₂ SiO ₃	31—38	31
HBO ₂	—	32
H ₂ S	—	0,5
Минерализация, г/кг	3,0—12,8	12,0
pH	6,0—7,1	7,4

общие особенности металлогенеза вмещающих пород региона, показанные на металлогенических картах СССР [13, 17]. Сопоставление имеющихся малочисленных данных о металлоносности азотных терм Тянь-Шаньского и Памирского регионов показывает, что в целом водам свойственны повышенные концентрации F, W, часто Si, невысокие — В, незначительные, но близкие концентрации Sr, Li, Cu, Zn, Ti, Pb, As.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева А. Б., Гончаров М. Н. Минеральные воды и лечебные грязи Средней Азии. — «Труды Ин-та курортологии и физиотерапии», 1971, т. 23, с. 20—44.
2. Барабанов Л. Н., Дислер В. Н. Азотные термы СССР. М., «Недра», 1968. 198 с.
3. Бедер Б. А. Минеральные воды республик Средней Азии. — В кн.: Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М., 1960, с. 382—399.
4. Бедер Б. А., Чуршина Н. М. Минеральные воды Таджикистана — ценные объекты для промышленного разлива. — В кн.: Подземные воды Таджикистана. Душанбе, 1967, с. 251—259.
5. Васильева В. Н. Особенности формирования Джеты-Огузских радиоактивных терм. — В кн.: Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М., 1960, с. 270—313.

6. Гидрогеология СССР. В 50-ти т. Гл. ред. А. В. Сидоренко. М., «Недра». Т. 39, 1971, 471 с.; т. 40, 1971, 487 с.; т. 41, 1972, 471 с.
7. Гордиенко Л. С., Мальцев А. А. Термальные воды курорта Ходжа-Оби-Гарм.— В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Таджикистана. Душанбе, 1965, с. 213—220.
8. Гордиенко Л. С., Мальцев А. А., Шапар А. А. Новые гидроминеральные ресурсы Центрального Таджикистана.— В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Таджикистана. Душанбе, 1965, с. 207—213.
9. Дислер В. Н. Миграция источников и изменения в очагах разгрузки CO_2 вод Памира и Тянь-Шаня.— «Докл. АН СССР», 1971, т. 198, № 5, с. 1167—1170.
10. Дислер В. Н. О динамике образования травертиновых куполов на углекислых термах Гарм-Чашма.— «Труды Ин-та курортологии и физиотерапии», 1971, т. 23, с. 131—138.
11. Дислер В. Н. О гидротермопроявлениях в районе и на участке углекислого источника Санг-Хок.— В кн.: Вопросы изучения лечебных минеральных вод, грязей и климата. М., 1973, с. 82—89.
12. Кафыров В. К., Казнев К. Джартанские углекислые воды.— «Изв. АН КиргССР», 1958, вып. 5, с. 79—89.
13. Карта основных металлогенических зон СССР. Масштаб 1 : 7 500 000. Ред. К. Б. Ильин. Л., 1968.
14. Крайнов С. Р. Геохимия германия в углекислых термальных водах (на примере Памира и Большого Кавказа).— «Геохимия», 1967, № 3, с. 356—367.
15. Крайнов С. Р. Геохимия редких элементов в подземных водах. М., «Недра», 1973. 295 с.
16. Крайнов С. Р., Петров Н. Г. Микроэлементы минеральных вод Памира.— «Геохимия», 1962, № 4, с. 356—366.
17. Металлогеническая карта СССР. Масштаб 1 : 2 500 000. Л., 1971.
18. Минеральные воды СССР. Пояснительная записка и каталог к карте минеральных вод масштаба 1 : 4 000 000. М., 1974. 323 с.
19. Основные типы гидрогеологических структур СССР. Ред. И. К. Зайцев. Л., 1974. 90 с.
20. Подземные минерализованные воды Киргизской ССР. Фрунзе, 1969. 140 с. Авт.: Н. И. Катаева, З. И. Мельникова, Р. Д. Барсуцкая, П. И. Шогина, В. М. Фомин.
21. Порохов Е. В., Калинин С. К. Спектрографическая характеристика термальных и холодных источников и горных рек Восточного Казахстана.— «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1943, № 6.
22. Сердюк Я. Я. Типы минеральных вод Памира.— В кн.: Подземные воды Таджикистана. Душанбе, 1967, с. 259—272.
23. Сердюк Я. Я., Антонов Ю. И. Термальные воды Памира и пути их использования.— В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Таджикистана. Душанбе, 1965, с. 176—194.
24. Сердюк Я. Я., Шапар А. А. Углекислые воды Памира.— В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Таджикистана. Душанбе, 1965, с. 194—207.
25. Стойнов Т. Ф., Султанходжаев А. Н. Основные типы месторождений минеральных вод Тянь-Шаня.— В кн.: Закономерности формирования и распространения минеральных вод СССР. М., «Наука», 1975. с. 108—117.
26. Чумакова Д. М. Водоносность крупнейших тектонических нарушений северного склона Туркестано-Алая и связанные с ними азотные термы.— «Гидрохим. мат-лы», 1971, т. 23, с. 150—154.
27. Чуршина Н. М., Бедер Б. А. Минеральные воды и озера Таджикской ССР.— «Труды Среднеазиатского ин-та», 1964, вып. 4, с. 34—39.

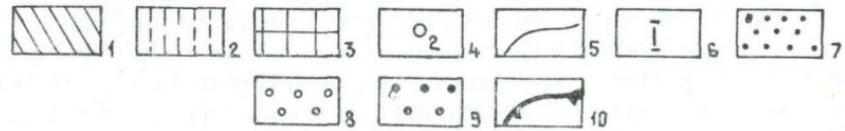
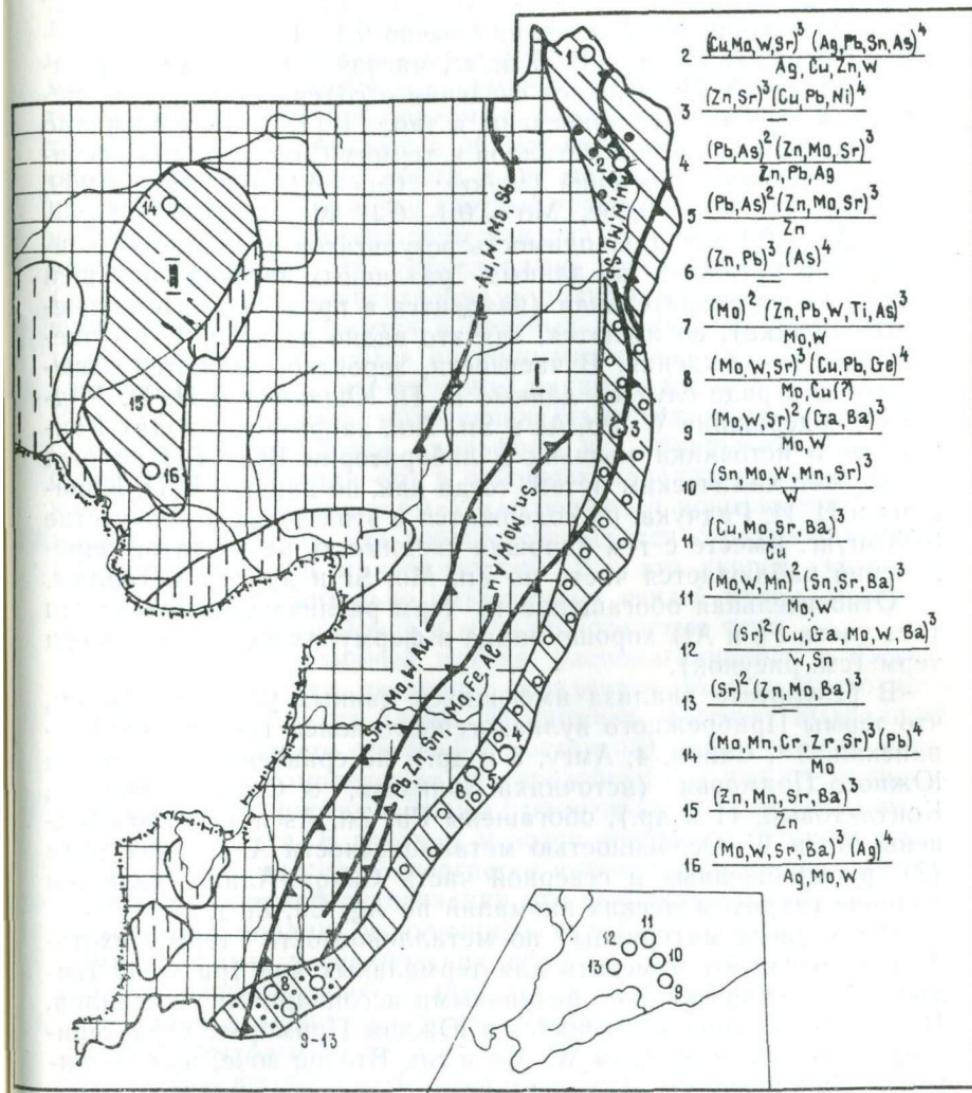
E. A. Басков, Н. А. Петрова, С. Н. Суриков

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД
ГОРНЫХ ОБЛАСТЕЙ
ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА СССР

Территория юга Дальнего Востока СССР по устройству поверхности представляет собой сочетание крупных горных хребтов субширотного (Джагды, Янкан и др.) и субмеридионального (Сихотэ-Алинь, Буреинский и др.) простирания и довольно крупных равнин (Верхнезейской, Зейско-Буреинской и др.). Она располагается в пределах зоны мезозойской складчатости и включает северо-восточную часть Монголо-Охотской области, Буреинский массив, Уссури-Ханкайский массив и Сихотэ-Алинскую область [2]. В гидрогеологическом отношении эта территория представляет собой систему гидрогеологических складчатых областей (Джагдынская, Сихотэ-Алинская и др.) и межгорных артезианских бассейнов (Нижнезейский, Среднеамурский и др.) в основном с пресными гидрокарбонатными водами, а также с солоноватыми (до 10 г/кг) хлоридно-гидрокарбонатными и гидрокарбонатно-хлоридными водами [3]. Термальные воды в пределах региона известны в артезианских бассейнах, а также в зонах новейших разломов Сихотэ-Алинской области и Буреинского массива (рисунок).

Сихотэ-Алинская область состоит из ряда крупных линейных складчатых структур северо-северо-восточного простирания, сложенных преимущественно терригенными и вулканогенными толщами (мощностью более 8—10 км) палеозоя и мезозоя, прорванными многочисленными интрузиями гранитоидов. В восточной части области — Прибрежном вулканогенном поясе — развиты полого залегающие вулканогенные образования верхнего мела и кайнозоя (общей мощностью до 4—6 км), прорванные интрузиями гранитоидов. В области широко проявились новейшие тектонические движения с образованием зон крупных разломов. Металлогеническая зональность области характеризуется наличием трех рудных поясов северо-северо-восточного простирания [6, 7]. В Восточном поясе распространены в основном месторождения свинца, цинка, олова, железа, в Центральном — олова, вольфрама, золота и др., в Западном — олова, флюорита, ртути и др.

Выходы термальных вод в Сихотэ-Алинской области известны главным образом в восточной и южной частях. По химическому составу эти термы преимущественно гидрокарбонатные (и карбонатные) натриевые с минерализацией 0,1—0,4 г/кг. Величина pH их колеблется от 7 до 9,5; количество кремниекисло-



Схематическая карта термальных вод юга Дальнего Востока СССР (с данными о металлоносности).

1—2 — провинции термальных вод: 1 — гидрокарбонатных натриевых азотных, 2 — гидрокарбонатных и хлоридных метановых; 3 — районы, где проявления термальных вод не известны; 4 — проявления гидрокарбонатных натриевых азотных терм; 5 — границы провинций термальных вод; 6 — районы распространения гидрокарбонатных натриевых терм: 1 — в Сихотэ-Алинской складчатой области, II — в Буреинском срединном массиве; 7—9 — гидроминерагенические зоны: 7 — W, Mo, Cu, As, 8 — Zn, Pb, As, 9 — W, Ag; 10 — границы металлогенических зон [6].

ты — от 20—40 до 80—90 мг/кг; фтора — от 1—2 до 3—7 мг/кг (табл. 1). Концентрации калия обычно 0,4—1 мг/кг, натрия — 20—70 мг/кг, кальция — 1—5 мг/кг, магния — 0,6—2 мг/кг (редко до 20 мг/кг). Имеющиеся сведения о содержании других металлов в этих термах приведены в табл. 1 [1, 4, 5]. Как видно из таблицы, количества металлов в термах Сихотэ-Алиня достигают следующих значений (мг/кг): Cu — 0,1—0,2, Ag — 0,009, Zn — 0,1—0,2, Ge — 0,002, Mo — 0,1—0,4, W — 0,02—0,2, Hg — 0,002, As — 0,1 и т. д. Сходимость результатов определений концентраций металлов по данным различных авторов большей частью удовлетворительная (находится в пределах математического порядка), но имеются, как это видно из табл. 1, и существенные расхождения. В частности, вероятно, являются завышенными в ряде случаев данные Е. П. Юшакина и П. И. Радчука о содержании W, Pb, As и Sn. Так, например, в водах Контактового источника мышьяк в лаборатории ВСЕГЕИ не был обнаружен химическим путем, тогда как, по данным Е. П. Юшакина и И. И. Радчука, он содержится в этих водах в количестве 0,03 мг/кг. Вместе с тем хорошая сходимость результатов определений наблюдается часто по Zn, Mo, Sr и другим металлам.

Относительная обогащенность терм различными металлами (без учета Fe и Al) хорошо видна в формулах металлоносности терм (см. рисунок).

В результате анализа имеющихся данных устанавливается, что термы Прибрежного вулканогенного пояса (источники Туминский, 3 *, Сайон, 4, Амгу, 5 и др.), по сравнению с термами Южного Приморья (источники Конихеза, 8, Сухой ключ, 9, Контактовый, 11 и др.), обогащены Pb, Zn, As и заметно обеднены Mo и W. Особенностью металлоносности Анненских терм (2), расположенных в северной части Сихотэ-Алиня, является наличие гидрохимических аномалий по Ag, Cu, Zn и W.

Имеющиеся материалы по металлоносности терм Сихотэ-Алиня позволяют наметить для термальных вод три зоны (гидроминерагенические) с различными ассоциациями металлов. Первая зона, располагающаяся в Южном Приморье, характеризуется обогащением терм W, Mo и Sn. Второй зоне, приуроченной к Прибрежному вулканогенному поясу, свойственна обогащенность Pb, Zn и As. Третья зона, представителями которой являются Анненские термы Северного Сихотэ-Алиня, характеризуется гидрохимическими аномалиями по Ag, Cu, Pb и W. При этом намечается определенное соответствие между металлогеническими зонами, выделяемыми в регионе [6, 7], и указанными гидроминерагеническими зонами. Первая зона находится в пределах Центрального рудного пояса, где известны проявления олово-вольфрамовой минерализации; вторая зона приурочена к Восточному рудному поясу с широко проявленной полиме-

* Здесь и далее после названия источника дан его номер на рисунке.

таллической минерализацией; третья зона находится в пределах северной части Центрального рудного пояса с проявлениями молибден-вольфрамовой и сурьмяной минерализации. Вместе с тем возможно, что наблюдаемые различия в металлоносности терм Приморья отражают в общем виде лишь особенности состава водовмещающих пород, а не металлогеническую зональность. В Южном Приморье азотные термы вытекают в основном из гранитов, а для таких терм как раз и характерно частое наличие вольфрама. Это обусловлено достаточно высокими — $(1,5-2) \cdot 10^{-4}\%$ — концентрациями вольфрама в гранитах. Большая часть его содержится в полевых шпатах, которые относительно легко разлагаются щелочными водами, вследствие чего вольфрам вместе с кремнеземом накапливается в термах [5]. Вместе с тем в термах, вытекающих из вулканогенных толщ Восточного рудного пояса, вольфрам не обнаруживается, хотя средние концентрации его в основных породах довольно велики — $1 \cdot 10^{-4}\%$. В этих термах наблюдаются повышенные содержания Zn, Pb и As, что хорошо согласуется с развитием здесь полиметаллической минерализации. Все это скорее указывает на наличие действительно объективных связей между металлогенией отдельных районов и металлоносностью терм.

Буреинский срединный массив, располагающийся в бассейнах рек Буреи и Зеи, разделяет складчатые области Восточного Забайкалья и Сихотэ-Алиня. Фундамент массива, выходящий на поверхность в его северной и восточной частях, сложен метаморфическими комплексами протерозойского и нижне-среднепалеозойского возраста, а также гранитоидами палеозойского и юрского возраста. В позднем мезозое, начиная с раннего мела, и в палеогене массив подвергается интенсивным процессам тектоно-магматической активизации, что выражается в образовании наложенных впадин, выполненных вулканогенными и терригенными толщами, возникновении крупных зон разломов, формировании разнообразной рудной минерализации (Sn, Sb и др.).

К зонам новейших разломов в восточной части массива приурочены выходы азотных хлоридно(фторидно)-гидрокарбонатных терм — источники Быссинский (14), Тырминский (15) и Кульдурский (16). Минерализация их колеблется в пределах 0,13—0,38 г/кг. Концентрации K в них 1—3 мг/кг, Na — 34—95 мг/кг, Ca — 1—5 мг/кг, Mg не обнаружен. Имеющиеся данные о концентрациях в этих термах других металлов приведены в табл. 2. Обращает на себя внимание наличие W (до 0,1 мг/кг) и Ag (до 0,003 мг/кг) в Кульдурских термах. Ассоциации преобладающих металлов (без учета Fe и Al) этих терм показаны в формулах металлоносности (см. рисунок).

По общему облику металлоносности и концентрациям металлов Кульдурские термы (16) близки к Анненским термам (2). Важно отметить, что они располагаются в сходных (по набору металлов) металлогенических зонах. Таким образом, и данные по

Таблица 1

Металлоносность азотных гидрокарбонатных

терм Сихотэ-Алинской области (мг/кг)

№ п/п	Номер водо- пункта на ри- сунке	Σ мин г/кг	pH	t° C	$\frac{H_2SiO_3}{H_3BO_3}$	Ba	Be	Ge	Pb	Mn	Ga	V	Mo	Li	Sr	Ag	Cu	Zn
1	2	0,311 9,35	51,5	93 0,56	(Не обн.)	(Сл.)	(0,001)	(0,003)	(0,003— 0,009)	(0,003— 0,009)	(Сл.)	(0,003— 0,009)	0,03	(0,03)	(0,0003— 0,009)	(0,001— 0,08)	(?)	
2	2	0,302 9,3	—	93 0,56	"	"	(?)	(Не обн.)	(0,008)	(Не обн.)	"	(0,003— 0,009)	(0,009— 0,03)	(0,03)	(0,0003— 0,009)	(0,003)	(Не обн.)	
3	2	—	—	—	(0,02— 0,07)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,002— 0,02)	(0,06— 0,1)	(0,02)	(0,02)	(0,002— 0,02)	(0,05— 0,1)	(0,02— 0,2)	(Не обн.)	(0,0009— 0,02)	(0,02— 0,2)	
4	3	0,153 9,4	44	65 —	(0,004)	?	"	(0,001— 0,005)	(0,004— 0,01)	(Не обн.)	—	(0,0004)	(Не обн.)	(0,01— 0,04)	(0,0004)	(0,004— 0,01)	(0,01— 0,04)	
5	4	0,264 $>7,8$	25	7,8 Не обн.	(0,002)*	—	—	0,002 0,1*	—	—	—	0,002 (0,04)*	—	(0,06— 0,1)*	—	Сл. (Не обн.)*	0,04 0,04*	
6	5	0,211 $>7,8$	36	22,2 Не обн.	(0,002)*	—	—	0,1* (0,03)*	—	—	—	0,01 (0,05— 0,1)*	—	(0,05— 0,1)*	—	(0,005)*	0,02 0,02*	
7	8	0,153 8,05	16	70 0,5	(<0,01)	(<0,0001)	(0,001)	(0,001) (0,002)*	(0,001)	(0,007)	(0,01)	(0,03) (0,05— 0,1)*	0,02 (0,01)	(0,03) (0,03)*	(0,0001)	(0,001) (0,01— 0,5)*	Сл. (Не обн.)	
8	9	0,236 7,7	20,5	50 0,5	(0,02)	(0,0002)	(0,002)	(0,002) (0,005)*	(<0,002)	(0,01)	(Не обн.)	0,02 (0,1) (0,01— 0,2)*	0,1 (0,14) (0,15)*	(0,16) (0,01— 0,2)*	(0,0002)	(0,002)	(Не обн.)	
9	10	0,069 6,8	29	23 0,5	(Не обн.)	(<0,00006)	(Не обн.)	0,005 (0,001) (0,02)*	(0,01)	(0,001)	(0,001)	0,02 (0,001) (<0,0006)	0,01 0,09* (<0,0006)	(0,012)	(Не обн.)	(0,001) (0,005)*	0,3* 0,005**	
10	11	0,184 7,25	14	51 0,5	(0,02) (0,03)*	(<0,0002)	(0,002)	(0,006)	(0,04)	(0,01)	(Не обн.)	0,02 (0,1) (0,03)*	0,09 (0,2)	(0,04)	(0,0002)	(0,1)	(<0,02)	
11	11	0,184 7,8	14	36 Сл.	(0,02) (0,03)*	(0,0001)	(0,001)	0,01* (0,003) (0,03)*	(0,12)	(0,007)	(0,004)	0,02 (0,1) (0,1)*	0,08 (0,08)	(0,08) (0,03)*	(0,0001)	(0,003) (0,008)*	0,1* (Не обн.)	
12	12	0,185 7,5	19	64 0,5	(<0,02)	(<0,0002)	(0,001)	(Не обн.)	(<0,002)	(0,01)	(0,01)	0,05 (0,1)	0,04 (0,2)	0,2 (0,2)	(0,0001)	(0,02)	0,006	

Продолжение табл. I

№ п/п	Номер водо- пункта на ри- сунке	$\Sigma_{\text{мин}}$ г/кг	рН	t° C	$\frac{H_2SiO_3}{H_3BO_3}$	Ba	Be	Ge	Pb	Mn	Ga	V	Mo	Li	Sr	Ag	Cu	Zn
13	12	$\frac{0,165}{7,3}$	17	$\frac{64}{0,5}$	(0,02)	(<0,0002)	(0,001)	0,01 (<0,002) (0,005— 0,01)*	(<0,002)	(0,01)	(0,004)	(0,1) (0,1— 0,2)*	0,04 (0,2)	(0,1) (0,002)*	(0,0001)	(0,002) (0,002)*	(<0,01)	
14	13	$\frac{0,152}{6,75}$	29,5	$\frac{61}{0,5}$	(<0,01)	(<0,0001)	(0,001)	(<0,001)	(0,001)	(0,008)	(0,004)	0,008* (0,4)	0,03 (0,1)	0,1 (0,2)	(0,0001)	(0,001)	0,03** (<0,01)	
15	13	$\frac{0,145}{7,1}$	24	$\frac{57}{0,5}$	(<0,01)	(<0,0001)	(0,0003)	(Не обн.)	(0,002)	(0,005)	(0,002)	(0,03)	0,03 (0,1)	(0,1)	(Не обн.)	(0,001)	(Сл.)	
16	13	$\frac{0,134}{7,5}$	26,7	$\frac{38}{0,5}$	(<0,01)	(<0,0001)	(0,001)	(<0,001)	(0,001)	(0,007)	(0,004)	(0,04)	0,05 (0,1)	(0,1)	"	(0,001)	(0,001)	
17	13	$\frac{0,113}{7,6}$	16,7	$\frac{32}{1,1}$	(0,01)	(Не обн.)	(0,0005)	(<0,001)	(0,06)	(0,003)	(Не обн.)	(0,02)	0,04 (0,01)	(0,08)	"	(0,006)	(0,02)	
18	13	$\frac{0,160}{7,05}$	27,5	$\frac{59}{\text{Не обн.}}$	(<0,01)	(<0,0001)	(0,001)	(Не обн.) (0,005)	(0,001)	(0,007)	(0,006)	0,008* (0,03)	0,04 (0,1)	(0,08)	(0,0001)	(0,001)	0,007 (Не обн.)	
19	13	$\frac{0,127}{7,5}$	19,8	$\frac{46}{1,1}$	(<0,01)	(<0,0001)	(0,0005)	(<0,001)	(0,001)	(0,002)	(0,001)	(0,02)	0,04 (0,07)	(0,06)	(<0,0001)	(0,0003)	(Не обн.)	
20	13	$\frac{0,148}{7,35}$	21,5	$\frac{57}{\text{Сл.}}$	(0,01)	(<0,0001)	(0,0006)	(<0,001)	(<0,001)	(0,004)	(0,001)	0,008* (0,04)	0,03 (0,2)	(0,1)	(0,0001)	(0,001)	0,005** (0,01)	

1—3 — источники Анненские: 1 — скв. 2. Кроме того, установлено (мг/кг): As — (0,002) [4]; 3 — сводные данные (мг/кг): Sn — (0,001—0,002), (0,001); 5 — источник Сайон ** (мг/кг): As — 0,1 *, W — (не обн.) *, 6 — 0,1 *; 7 — источник Конихеза (мг/кг): Ni — (<0,001), Zr — 0,001, W — (0,05—<0,002), W — (0,01—0,2) *; 9 — источник Горячий ключ (мг/кг): As — 10 — источник Цирковый (мг/кг): Ni — (0,002); 11 — источник Контактовый As — 0,03 *; 12 — источник Та-Синьгоу верхний (мг/кг): Sn — (0,002), W — 0,2 *; Sn — (0,002) *; 14—20 — источники Вангуоу: 14 — нижняя группа, скв. 64; 17 — скв. 65 (мг/кг): Sn — (0,001), Ni — (0,0002), Zr — (0,002); 18 —ней группы (мг/кг): Sn — (0,001), Cr — (0,005), Ni — (<0,001), Zr — (<0,001).

Приимечания. 1. Приведены данные: * Е. П. Юшакина, П. И. Радчук, рикова, 1969 и 1971 гг.

(мг/кг): As — (0,002), Ni — (0,003), Zr — (0,003) [4]; 2 — источник Новый Уренгой (мг/кг): W — (0,02—0,06) [1]; 4 — источник Тумнинский (мг/кг): Ni — (0,001), Zr — источник Амгу (мг/кг): Hg — (0,002), As — (0,002), W — (не обн.) *, As — 0,1) *, As — 0,03 *; 8 — источник Сухой ключ (мг/кг): Ni — (<0,002), Cr — 0,01 **, As — 0,02 *; Cr — (0,0006), Sn — (<0,0006), Sn — (0,06) * W — (0,1) *, (мг/кг): Cr — (0,001), Ni — (0,001), Zr — (0,001), W — (0,1) *, Sn — (0,01) *, (мг/кг): Cr — (0,001), Ni — (0,001), Zr — (0,001), W — (0,01), W — (0,1) — (0,03); 13 — источник Та-Сынгыгуу нижний (мг/кг): W — (0,01), W — (0,1) — колодец (мг/кг): W — 0,004, Hg — 0,001; 15 — скв. 63 (мг/кг): Zr — 0,001; 16 — скв. 48 (мг/кг): Zr — (<0,001); 20 — источник верхний главный источник; 19 — скв. 48 (мг/кг): Zr — (<0,001); 20 — источник верх-

1968 г.; ** C. P. Крайнова, 1960—1961 гг. 2. № 7—20 — данные С. Н. Су-

Таблица 2

Металлоносность азотных терм Буреинского массива (мг/кг)

№ п/п	Номер водопункта на рисунке	$\Sigma_{\text{мин}}$ г/кг	pH	t° C	$\frac{H_2SiO_3}{H_3BO_3}$	Li	Sr	Ba	Ge	Pb
1	14	0,257 8,7	42	65 2,8	0,046	0,07 (0,007— 0,02)	(Не обн.)	(0,0007)	(0,002)	
2	14	0,260 8,35	33	65 2,8	0,046	0,07	"	(Не обн.)	(0,002— 0,007)	
3	14	0,256 8,3	32	68 2,8	0,05	0,1	"	"	0,002	
4	15	0,2 6,8	36,8	65 0,056	0,01	0,07 (<0,02)	(0,02)	(0,002)	(Не обн.)	
5	16	0,134 8,75	41,5	— 1,12	(0,01— 0,03)	(0,01)	(<0,01)	(0,001— 0,003)	"	
6	16	0,383 9,5	—	82 1,12	0,25	(0,03)	(0,03)	(0,01)	"	

Продолжение табл. 2

№ п/п	Номер водопункта на рисунке	Mn	Ga	V	Mo	Cu	W
1	14	(0,007— 0,02)	(0,007— 0,02)	0,002	(0,007— 0,02)	(0,02)	(Не обн.)
2	14	(0,007— 0,02)	(0,002— 0,007)	(0,002)	(0,007— 0,02)	(0,002— 0,007)	"
3	14	(0,002— 0,007)	(0,002)	(Не обн.)	(0,002— 0,007)	(0,002)	"
4	15	(0,05— 0,2)	(0,002)	(0,002)	(0,0005— 0,002)	(0,0005— 0,002)	"
5	16	(<0,0008)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,001)	(<0,001)	(0,01— 0,08)
6	16	(0,01)	(0,01)	"	(0,01)	(0,003)	(0,1)

1—3 — источник Быссинский: 1 — колодец; 2 — скв. 3; 3 — скв. 2. Кроме того, установлено (мг/кг): Ti — (0,007—0,02), Cr — (0,02—0,07) [4]; 4 — источник Тырминский (мг/кг): Ti — (0,05), Zn — (0,02—0,05) [4]; 5—6 — источник Кульдур: 5 — скважина «Ключ молодости» (мг/кг): Ag — (0,001—0,003), Ti — (0,001); 6 — скв. 3 (мг/кг): Ti — (0,001), Cr — (0,003), Ag — (0,001) [4].

Буреинскому массиву свидетельствуют об определенной взаимосвязи между ассоциациями металлов в термах и металлогенической специализацией отдельных регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатков Н. М., Кулаков В. В. Анненские термы.—«Сов. геология», 1966, № 5, с. 153—155.
2. Геологическое строение северо-западной части Тихоокеанского подвижного пояса. Отв. ред. Л. И. Красный. М., «Недра», 1966. 516 с.
3. Гидрогеологические структуры Восточной Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока СССР.—«Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1974, т. 229, с. 70—82. Авт.: Е. А. Басков, Г. И. Климов, В. А. Кирюхин, С. Н. Суриков, Н. А. Петрова, О. Н. Толстыхин.
4. Кирюхин В. А., Резников А. А. Новые данные по химическому составу азотных терм юга Дальнего Востока.—В кн.: Вопросы специальной гидрогеологии Сибири и Дальнего Востока. Иркутское кн. изд-во, 1962, с. 71—83.
5. Крайнов С. Р. Геохимия редких элементов в подземных водах. М., «Недра», 1973. 295 с.
6. Металлогеническая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000. Л., 1971.
7. Радкевич Е. А. Металлогения Востока СССР.—В кн.: Проблемы металлогении советского Дальнего Востока. М., «Наука», 1967, с. 17—30.

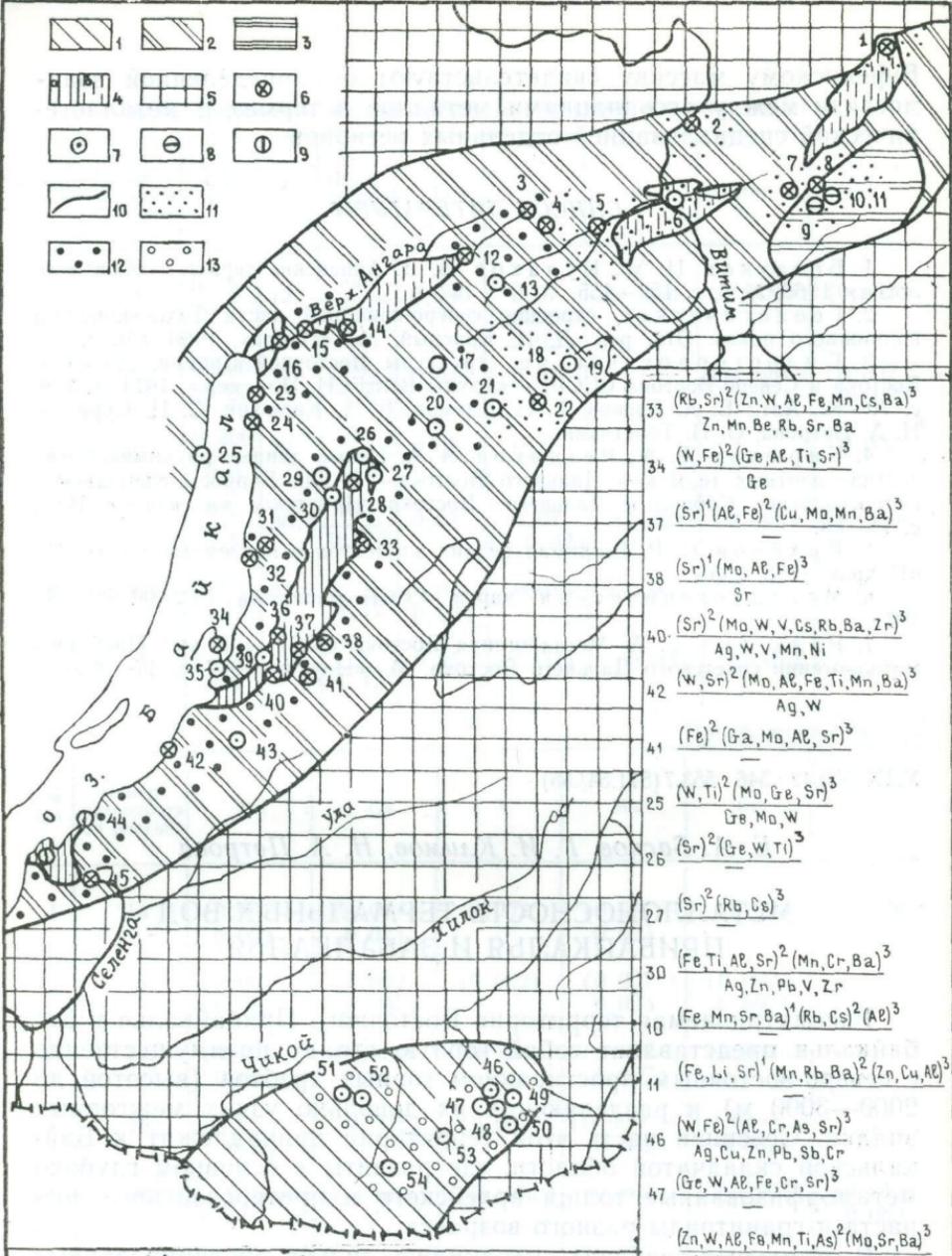
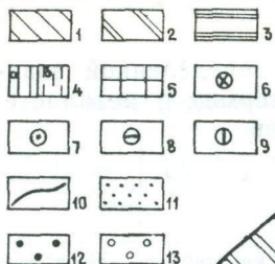
УДК 550.42 : 546 : 553.7(571.54/.55)

E. A. Басков, Г. И. Климов, Н. А. Петрова

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЗАБАЙКАЛЬЯ

Рассматриваемая территория Восточного Прибайкалья и Забайкалья представляет собой горную страну преимущественно с северо-восточным простиранием горных хребтов (высотой до 2000—3000 м) и разделяющих их довольно узких межгорных впадин. Северная часть этой территории принадлежит к Байкальской складчатой области, где развиты в основном глубоко метаморфизованные толщи архейского и протерозойского возраста и гранитоиды разного возраста.

В отдельных грабенах сохранились сильно дислоцированные карбонатные и терригенные толщи кембрийского возраста мощностью до 2—5 км. В мезозое и кайнозое в рассматриваемой части Байкальской области происходило образование грабенообразных впадин, в которых накапливались терригенные толщи мощностью до 2—4 км. В настоящее время в южной части Байкальской области располагается Байкальская рифтовая зона, протягивающаяся на 1500—2000 км в



1 $(\text{Zn}, \text{Al}, \text{Fe}, \text{Sr})^2 (\text{Ga}, \text{Mo}, \text{W}, \text{Li}, \text{Ba})^3$
 $\text{Zn}, \text{Pb}, \text{Cr}, \text{Ni}$

7 $(\text{Fe}, \text{Li}, \text{Sr})^2 (\text{Mo}, \text{W}, \text{Al}, \text{Rb}, \text{Ba})^3$
 Sr

15 $(\text{Ti}, \text{Sr})^2 (\text{Mo}, \text{W})^3$

24 $(\text{Mo}, \text{Ti}, \text{Sr})^2 (\text{W})^3$
 Mo

16 $(\text{Sr})^2 (\text{Mo}, \text{W}, \text{Ti})^3$

28 $(\text{Fe}, \text{Sr})^2 (\text{Ge}, \text{W}, \text{Al}, \text{Cs}, \text{Rb}, \text{Ba})^3$

30 $(\text{Sr})^2 (\text{Al}, \text{Fe})^3$

32 $(\text{Sr})^2$

48 $(\text{Zn}, \text{W}, \text{Al}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ti}, \text{As})^2 (\text{Mo}, \text{Sr}, \text{Ba})^3$
 $\text{Ag}, \text{Cu}, \text{W}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Be}, \text{Sr}, \text{Zr}$

49 $(\text{W}, \text{Al}, \text{Fe}, \text{Ti}, \text{As})^2 (\text{Ge}, \text{Sr}, \text{Ba})^3$
 $\text{W}, \text{Fe}, \text{Y}$

50 $(\text{Fe}, \text{Al})^2 (\text{Mo}, \text{W}, \text{Sr})^3$

51 $(\text{Fe})^2 (\text{Mo}, \text{Al})^3$

52 $(\text{Fe}, \text{Al})^2 (\text{Mo}, \text{W}, \text{Cr}, \text{Sr})^3$

53 $(\text{W}, \text{Al})^2 (\text{Zn}, \text{Ge}, \text{Mo}, \text{Sr})^3$

северо-восточном направлении. Большая, южная часть Забайкалья принадлежит к Монголо-Охотской складчатой области. Наиболее древние (протерозойские?) терригенные толщи сильно метаморфизованы и интенсивно дислоцированы. Палеозойские, а также нижнемезозойские терригенные образования, широко развитые в Юго-Восточном Забайкалье, метаморфизованы и смяты в сложные складки. Верхнеюрские и нижнемеловые терригенные и вулканогенные толщи выполняют обычно межгорные впадины. В Монголо-Охотской области весьма распространены гранитоиды палеозойского и мезозойского возраста. В кайнозое рассматриваемая часть Монголо-Охотской области испытала глыбово-сводовое поднятие с амплитудой до 1600 м и более. К этому времени относится обновление древних и возникновение новых глубинных разломов преимущественно северо-восточного и субширотного простирания. Металлогения Прибайкалья и Забайкалья весьма разнообразна. Здесь выделяется ряд металлогенических зон с золото-свинцово-цинковой, флюоритовой, ртутно-сурьмяно-вольфрамово-золотой минерализацией и др. [6].

В гидрогеологическом отношении описываемая территория принадлежит к Байкальской, Забайкальской и Даурской гидрогеологическим складчатым областям [3], представляющим собой системы гидрогеологических массивов, артезианских и адартезианских бассейнов. Байкальская область пространственно совпадает с Байкальской рифтовой зоной, характеризующейся высокой тектонической активностью в кайнозое. В массивах преобладают регионально-трещинные, реже трещинно-карстовые скопления пресных подземных вод. В зонах крупных новейших разломов, приуроченных часто к бортам межгорных впадин, развиты трещинно-жильные термальные воды. Они питают источники с температурой вод до 70—80° С. По составу воды источников в основном азотные сульфатные и гидрокарбонатные натриевые с минерализацией до 0,5—1,5 г/кг. В районах молодого вулканизма (Удоканский хребет) известны углекислые термы гидрокарбонатного натриевого состава с минерализацией до 7—8 г/кг (рисунок). В артезианских бассейнах Байкальской области (Селенгинском, Баргузинском и др.), выполненных мощ-

Схематическая карта термальных вод Прибайкалья и Забайкалья (с данными о металлоносности).

1—4 — провинции термальных вод: 1 — гидрокарбонатных натриевых азотных, 2 — гидрокарбонатных и сульфатных натриевых азотных, 3 — гидрокарбонатных натриевых углекислых, 4 — гидрокарбонатных и сульфатных натриевых азотных и гидрокарбонатных и хлоридных натриевых метановых (*a* — установленные, *b* — предполагаемые); 5 — районы, где проявления термальных вод не известны; 6—9 — проявления термальных вод: 6 — сульфатных натриевых азотных, 7 — гидрокарбонатных натриевых азотных, 8 — гидрокарбонатных натриевых углекислых, 9 — гидрокарбонатных и хлоридных натриевых метановых; 10 — границы провинций термальных вод; 11—13 — гидроминерагенические зоны: 11 — Rb, Cs, 12 — Mo, W, с примесью Ge, Hg, 13 — W, Fe, Al, с примесью As, Ti, Mo, Ge, Sr.

ными (до 2000—3000 м) неоген-четвертичными толщами до глубин 1000—1500 м, содержатся пресные гидрокарбонатные преимущественно натриевые воды, на больших глубинах отдельными скважинами вскрыты метановые солоноватые (1—3 г/кг) гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые термальные (до 97° С) воды.

В гидрогеологических массивах и адмассивах Забайкальской и Даурской областей развиты преимущественно воды регионально-трещинные и жильные зон тектонических разломов, в основном холодные, по составу гидрокарбонатные, пресные; местами встречаются холодные углекислые гидрокарбонатные пресные и солоноватые воды. В западной части Даурской области (в Чикой-Ононском районе) в крупных зонах новейших разломов установлены выходы термальных пресных вод гидрокарбонатного натриевого состава, газирующих азотом. В артезианских и артезианских бассейнах Забайкальской и Даурской областей, приуроченных к межгорным впадинам и выполненных верхнеюрскими и нижнемеловыми терригенными (реже вулканогенными) толщами, содержатся в основном холодные пресные и солоноватые воды; к зонам разломов местами приурочены углекислые воды гидрокарбонатного состава с минерализацией до 10—15 г/кг.

Таким образом, в пределах рассматриваемой территории выделяются две провинции термальных вод. Первая из них приурочена к Байкальской области, вторая — к Чикой-Ононскому району Даурской области. Изученность металлоносности микрокомпонентного состава термальных вод региона в целом еще недостаточная и базируется в основном на результатах спектральных полуколичественных анализов сухих остатков вод и в меньшей степени на результатах химических и физико-химических методов анализа вод. В основу нижеприводимой характеристики металлоносности термальных вод положены материалы авторов, а также данные В. Г. Ткачук, Н. В. Яснитской [7], В. А. Албагачиевой [1], И. С. Ломоносова [5], Е. В. Пиннекера, Б. И. Писарского и др. [4].

В Байкальской области, характеризующейся довольно большим разнообразием термальных вод, изученность металлоносности терм весьма неравномерная. Относительно полно изучена металлоносность сульфатных и гидрокарбонатных азотных терм, тогда как сведения о металлоносности гидрокарбонатных (и хлоридных) натриевых метановых терм отсутствуют.

Азотные сульфатные натриевые термы довольно широко распространены в Байкальской области. Выходы их отчетливо тяготеют к зонам новейших разломов, ограничивающих межгорные артезианские бассейны. Дебиты термальных источников достигают 2000 м³/сут и более, температуры 70—80° С, минерализация вод обычно 0,4—1,1 г/кг. Содержание сульфат-иона в них колеблется обычно от 100 до 600 мг/кг, хлор-иона — от 10—15

до 60—80 мг/кг. Обращают на себя внимание довольно высокие концентрации в термах кремнекислоты (до 100—119 мг/кг), фтора (до 10—14 мг/кг). Величина рН терм меняется в пределах 7,1—9,5. Большинство источников газирует азотом, в отдельных случаях с примесью метана.

Имеющиеся основные фактические данные о наличии металлов в микрокомпонентном составе терм приведены в табл. 1 и 3, а обобщенные сведения о средних и максимальных их концентрациях — в табл. 2. Как видно из этих данных, в сульфатных натриевых азотных термах обнаружены разнообразные металлы, содержания которых обычно не превышают 0,1—1 мг/кг. При этом концентрации достигают (мг/кг): Mo — 0,3, W — 0,1, Zn — 0,2, Pb — 0,01, Ge — 0,04, Ag — 0,002, Be — 0,01, Sn — 0,008, Hg — 0,04. Относительная обогащенность микрокомпонентного состава сульфатных азотных терм различными металлами хорошо видна в приводимых формулах металлоносности терм (см. рисунок).

Устанавливается постоянная обогащенность этих терм литием, стронцием, а также часто вольфрамом, молибденом, железом и алюминием. Они содержатся обычно в концентрациях 0,01—0,1 мг/кг и более. Эта ассоциация металлов (Sr, W, Mo, Fe, Al) резко преобладает над другими металлами в рассматриваемых сульфатных азотных термах. Среди металлов, содержащихся в более низких концентрациях (обычно до 0,01 мг/кг), в качестве характерных примесей следует отметить германий и ртуть. Для ряда водопунктов устанавливается наличие довольно контрастных гидрохимических аномалий (источники Верхнечарский, Гаргинский, Гусихинский и др.). Концентрации отдельных металлов (Zn, Pb, Hg, W, Ag и др.) в водах здесь в 5—10 раз и более превышают их средние концентрации.

Гидрокарбонатные натриевые азотные термы в Байкальской области приурочены к тем же зонам новейших разломов, что и сульфатные азотные термы. Нередко в одном и том же источнике наблюдаются головки азотных терм как сульфатного, так и гидрокарбонатного состава. Особенно характерны подобные источники для северной части бассейна р. Баргузин (источник Аллинский и др.). Дебиты источников гидрокарбонатных азотных терм достигают 2000—3000 м³/сут, а температуры 75—80° С. Минерализация вод источников колеблется в пределах 0,3—0,5 г/кг, редко до 0,7 г/кг. Содержание $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ при этом находится в пределах 0,1—0,4 г/кг, SO_4^{2-} — до 0,1 г/кг, Cl^- — до 0,05 г/кг. Для этих терм характерны относительно высокие содержания F^- (до 10—20 мг/кг), кремниевой кислоты (до 100—120 мг/кг). Величина рН терм достигает 9—10. Имеющиеся немногочисленные данные о металлоносности этих терм приведены в табл. 3 и 4. Так же как и в сульфатных азотных термах, в ассоциацию преобладающих металлов микрокомпонентного состава вод в концентрациях в основном от 0,01 до 0,1—

Таблица 1

Металлоносность сульфатных натриевых

азотных терм Байкальской области (мг/кг)

№/п	Номер водо-punktata на ри- сунке	d _{мин} г/кг t [°] С	рН	H ₂ SiO ₃ H ₃ BO ₃	Li	Sr	Ba	Be	Ti	азотных терм Байкальской области (мг/кг)							
				Ge						Pb	Mn	Ga	W	Mo	Ag	Cu	
1	1	0,55 50	9,33	65 1	0,1 (0,08)	0,3 (0,8)	(0,08)	(0,00001)	(0,02)	(0,005)	(0,01)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	0,01 (0,01)	(0,0003)	0,003 (0,008)
2	1	0,55 50	9,25	63 1	0,1 (0,08)	0,8 (0,5)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,008)	(0,005)	(0,003)	(0,003)	(0,005)	(0,01)	0,005 (0,01)	(Не обн.)	(0,0003)
3	7	0,46 42	8,5	58 —	0,16—0,28 (0,26)	0,1—0,15 (0,04)	(0,02)	(Не обн.)	(Не обн.)	0,004 (Не обн.)	(Не обн.)	(0,006)	(0,002)	(0,02)	0,01 (0,009)	(0,0002)	(0,002)
4	28	0,46 43	8,1	96 —	(0,03)	(0,1)	(0,02)	(Не обн.)	(0,004)	(0,009)	“	(0,001)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,001)	(0,0003)	(0,001)
5	28	0,41 40	—	—	0,1	0,1	—	—	0,01	0,04	—	—	—	0,01	0,001	—	—
6	30	0,41 77	8,9	65 0,3	0,07 (0,08)	0,77 (0,1)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,004)	0,001 (0,008)	(Не обн.)	(0,002)	(0,008)	(Не обн.)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,002)
7	30	0,37 74	7,8	81	0,036	0,36	0,004	—	0,1	0,004	—	—	—	—	0,004	—	—
8	30	0,45 43	8,1	119 —	(0,03)	(0,1)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,004)	(0,004)	(Не обн.)	(0,001)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,004)	(0,0001)	(0,004)
9	15	0,28 42	7,4	—	0,06	0,28	0,008	—	0,057	0,003	—	—	—	0,028	0,085	—	—
10	33	1,08 73	—	87 0,5	(3)	(2)	(0,2)	(0,01)	(0,02)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,3)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,01)	(Не обн.)	(0,01)
11	33	1,11 73	8,4	76 Не обн.	2 (0,2)	(0,1)	(0,03)	(0,01)	(0,01)	“	“	(0,03)	(0,001)	(0,003)	0,005 (0,008)	“	(0,005)
12	33	1,04 76	7,6	76 —	1,48	1,85	0,1	—	0,03	Сл.	—	0,03	—	0,1	0,01	—	—
13	16	0,30 42	7,2	24 —	0,18	0,3	Не обн.	—	0,09	Не обн.	—	Не обн.	—	0,06	0,03	—	—

№ п/п	Номер водопункта на рисунке	$\Sigma \text{Mин}$ т/кг	$t^{\circ}\text{C}$	рН	$\frac{\text{H}_2\text{SiO}_3}{\text{H}_3\text{BO}_3}$		Li	Sr	Ba	Be	Tl	Ge	Pb	Mn	Ga	W	Mo	Ag	Cu
					Li	H_2SiO_3													
14	24	$\frac{0,32}{46}$	7,4	—	28	—	0,03	0,33	Не обн.	—	0,1	Сл.	—	Не обн.	—	0,03	0,33	—	—
15	38	$\frac{0,97}{19}$	7,1	$\frac{55}{1,7}$	(0,6)	(1,8)	(Не обн.)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,01)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,003)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,03)	(Не обн.)	(0,003)	
16	37	$\frac{0,59}{20}$	7,2	$\frac{51}{—}$	(0,2)	(3,8)	(0,02)	“	(0,006)	“	“	(0,001)	(0,01)	“	“	(0,02)	“	(0,01)	
17	41	$\frac{0,44}{48}$	8,4	—	100	—	(0,04)	(0,08)	(Не обн.)	(0,002)	(0,004)	“	(Не обн.)	(0,008)	(0,01)	“	(0,01)	“	(0,001)
18	40	$\frac{0,72}{55}$	9,2	$\frac{65}{—}$	—	0,15 (0,07)	(0,2)	(0,02)	(Не обн.)	(0,007)	“	“	(0,007)	(0,002)	(0,1)	0,0075 (0,004)	(0,0002)	(0,003)	
19	40	$\frac{0,78}{31}$	—	$\frac{65}{—}$	—	0,17 (0,02)	(0,5)	(0,02)	(0,007)	(2,2)	“	“	(0,2)	(0,007)	(Не обн.)	0,0075 (0,02)	(Не обн.)	(0,007)	
20	34	$\frac{0,48}{44}$	7,4	$\frac{90}{—}$	(0,03)	(0,04)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,001)	(0,03)	“	(0,004)	(0,01)	“	(0,001)	“	(0,01)		
21	34	$\frac{0,40}{45}$	7,6	$\frac{69}{—}$	—	0,04	0,07	Не обн.	—	0,04	0,01	—	Сл.	—	0,11	0,007	—	—	
22	42	$\frac{0,65}{52}$	7,1 (?)	$\frac{59}{—}$	—	0,03 (0,02)	(0,4)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,02)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,004)	(0,003)	(0,12)	Не обн. (0,02)	(0,0001)	(0,006)	

1 — источник Верхнечарский, каптированный выход. Кроме того, установ 2 — там же, некаптированный выход (мг/кг): Al — (0,02), Fe — (0,05); 3 — Fe — 0,2 (0,2); 4 — источник Кучехирский (мг/кг): Al — (0,03), Fe — (0,8) [2]; Fe — (0,08), а также Be — (0,0004), W — (0,002), Mo — (0,004), Cu — (0,004) Al — (0,04), Fe — (0,08) [4]; 9 — источник Дзелинда (мг/кг): HS⁻ — 20 [4]; 11 — там же (мг/кг): HS⁻ — 2, Al — (0,02), Fe — (0,01); 12 — там же (мг/кг): ник Хакусский (мг/кг): Br — 0,3 [4]; 15 — источник Инский (мг/кг): Al — Al — (0,1), Fe — (0,4) [2]; 17 — источник Уринский (мг/кг): Al — (0,04), Fe — 19 — там же (мг/кг): Zr — 0,073, Al — (7,3), Fe — (7,8); 20 — источник 23 [4]; 22 — источник Горячинский (мг/кг): HS⁻ — 2, Al — (0,01), Fe —

лено (мг/кг): Br — 0,4, Zn — 0,005 (0,16), Ni — (0,003), Al — (0,4), Fe — (1,1); источник Пурелаг, некаптированный выход (мг/кг): As — 0,001, Al — (0,05), 5 — там же [5]; 6 — источник Аллинский (мг/кг): Cr — (0,01), Al — (0,03), [2]; 7 — там же (мг/кг): HS⁻ — 24,8 [4]; 8 — там же (мг/кг): Sn — (0,08), 10 — источник Гаргинский (мг/кг): Zn — (0,1), Al — (0,2), Fe — (0,2) [2]; HS⁻ — 12 [4]; 13 — источник Корикейский (мг/кг): HS⁻ — 3 [4]; 14 — источник (0,02), Fe — (0,06) [4]; 16 — источник Алгинский (мг/кг): V — (0,0006), (0,3) [2]; 18 — источник Гусинский (мг/кг): Al — (0,1), Fe — (0,07) [2]; Змеинный (мг/кг): Al — (0,03), Fe — (0,3) [2]; 21 — там же (мг/кг): HS⁻ — (0,06), а также Ba — (0,02), Mn — (0,01), Ag — (0,006) [2].

Приложение № 1, 2, частично № 22 — данные Г. И. Климова, 1968 № 6, 22 — данные Е. А. Баскова, Г. И. Климова, 1963 г.

г.; № 3 — данные Г. И. Климова, С. Н. Сурикова, 1965 г.; № 11, 19, частично

Таблица 2

**Обобщенные данные о содержании металлов
в сульфатных азотных термах Байкальской области**

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(25)	(36)	(0,0002)	(0,002)
Cu	(25)	(98)	(0,004)	(0,01)
Hg*	9	100	0,0008	0,04
Zn	(25)	(8)	—	(0,2)
Ge	11 (25)	72 (36)	0,006 (0,003)	0,04 (0,03)
Sn	(25)	(4)	—	(0,008)
Pb	(25)	(12)	(0,0006)	(0,01)
Ga	(25)	(52)	(0,003)	(0,016)
As	6 (25)	17 (0)	—	0,001
V	(25)	(20)	(0,002)	(0,05)
Cr	(25)	(12)	(0,0007)	(0,012)
Ni	(25)	(8)	—	(0,007)
Mo	20 (25)	75 (92)	0,028 (0,000)	0,33 (0,03)
W	8 (25)	75 (40)	0,04 (0,013)	0,11 (0,13)
Li	23 (26)	100 (100)	0,45 (0,3)	2 (3,03)
Rb*	14	55	0,02	0,1
Cs*	14	45	0,02	0,07
Be	4 (25)	0 (72)	(0,001)	(0,01)
Sr	15 (25)	100 (100)	0,45 (0,6)	1,8 (3,8)
Ba	7 (25)	43 (56)	0,015 (0,018)	0,1 (0,17)
Zr	(25)	(4)	—	(0,07)

* По материалам И. С. Ломоносова [5].

Таблица 3

**Содержание ртути, рубидия и цезия (мг/кг)
в современных гидротермах Байкальской области [5]**

Источник, его номер на рисунке	Hg	Rb	Cs
Пурелагский, 7	—	0,03	0
Корикейский, 16	0,0005	—	—
Шуринда, 22	0,042	0,004	0,07
Кучехирский, 28	0,0005	0,017	0,014
Гаргинский, 33	—	0,13	0,07
Змеиный, 34	—	0,008	0
Гусихинский, 40	—	0,05	0,06
Питателевский, 45	—	0,014	0,044
Бусанский, 18	—	0	0,021
Ципинский, 19	0,0005	0	0,024
Баунтовский, 11	0,0005	0,003	0,01
Умхейский, 26	0,002	—	0,007
Сеюйский, 27	—	0,05	0,04
Муйский, 5	0,0014	—	—
Аллинский, 30	0,0014	0,05	0,02
Сыни, 9	0,0074	0	Сл.
Травертиновый, 10	—	0,265	0,123
Плотинный, 11	0,0005	0,411	Сл.

1 мг/кг входят Sr, Li, W, Ti, Ge. Это хорошо видно в приводимых формулах металлоносности ряда терм (см. рисунок).

Углекислые гидрокарбонатные натриевые термы в Байкальской области известны в ее северо-восточной части — в хр. Удокан, они приурочены к районам четвертичного вулканизма (рисунок, источники 9, 10, 11). Разгрузка этих терм происходит в виде многочисленных рассеянных выходов с суммарным дебитом до 2000—3000 м³/сут и более. Температуры вод источников относительно низкие — до 23—32° С, минерализация около 6—8 г/кг. В ионном составе преобладают HCO_3^- (до 4—5 г/кг) и Na^+ (до 1—1,6 г/кг). Обращает на себя внимание наличие Cl^- (до 0,57 г/кг) при весьма низком содержании SO_4^{2-} (до 0,007 г/кг). В водах много H_2SiO_3 — до 0,15—0,17 г/кг, H_3BO_3 — до 0,01—0,02 г/кг, K^+ — до 0,05—0,07 г/кг, установлено наличие F^- — 0,001—0,002 г/кг и Br^- — до 0,002 г/кг. Свободная углекислота содержится в пределах 0,5—1,4 г/кг. Сведения о металлоносности микрокомпонентного состава этих терм хотя еще и весьма ограничены (табл. 5), но показывают их более высокую обогащенность металлами, чем сульфатных и гидрокарбонатных азотных терм. Последнее обстоятельство, вероятно, в определенной мере обусловлено более высокой минерализацией углекислых терм. Характерными для гидрокарбонатных углекислых терм являются довольно высокие концентрации (мг/кг): Fe — до 7—10, Sr — до 5—9, Li — до 2,9, Ba — до 1, Mp — до 1—2, Rb — до 0,4, Cs — до 0,1.

Намечающиеся ассоциации металлов (в различных концентрациях) в этих водах хорошо видны в приводимых формулах металлоносности вод источников Травертинового и Плотинного. В ассоциацию преобладающих металлов входят Fe, Sr, Li, а также Mp, Ba, Rb и Cs (концентрации их более 0,1—1 мг/кг). Характерными металлами-примесями являются Be и Al.

Приведенные данные о металлоносности термальных вод Прибайкалья позволяют наметить здесь в первом приближении две гидроминерагенические зоны: 1) западную зону, в которой в ассоциацию преобладающих металлов входят Mo и W, а в качестве характерных примесей Ge и Hg; в этой зоне известен ряд контрастных гидрохимических аномалий на Mo, W, Zn, Hg и др.; 2) восточную зону, характеризующуюся наличием в преобладающей ассоциации металлов Rb и Cs в качестве постоянной примеси.

Взаимосвязь выделяемых гидроминерагенических зон с металлогеническим районированием территории проявляется недостаточно четко. Можно лишь отметить, что некоторые металлогенические зоны с молибденовой минерализацией, намечаемые К. А. Марковым (ВСЕГЕИ), совпадают с областью распространения терм с повышенными содержаниями молибдена. Кроме того, резко повышенные концентрации ряда металлов (W, Hg и др.) в водах некоторых терм позволяют обоснованно предпо-

Таблица 4

металлоносность гидрокарбонатных

№ н/п	Номер водопункта на рисунке	$\Sigma_{\text{мин}}^{\text{макс}}$	$\Gamma/\text{кг}$	C	pH	$\frac{\text{H}_2\text{SiO}_3}{\text{H}_3\text{BO}_3}$	Li	Sr	Al	Fe	Ba
1	30	$\frac{0,56}{71}$	10,3	$\frac{118}{1}$	0,04 (0,03)	He обн. (0,12)	(2,6)	(8)	(He обн.)		
2	30	$\frac{0,73}{52}$	9,95	$\frac{106}{1}$	0,03 (0,03)	He обн. (0,04)	(0,08)	(0,1)	(0,01)		
3	26	$\frac{0,45}{46}$	7,6	$\frac{71}{—}$	0,09	0,12	—	—	He обн.		
4	25	$\frac{0,23}{50}$	—	—	0,33	0,07	—	—	0,002		
5	27	$\frac{0,38}{52}$	7,8	$\frac{57}{—}$	0,09	0,1	—	—	He обн.		

1 — источник Аллинский. Кроме того, установлено (мг/кг): HS — 24,3, W — (0,008), Zn — (0,09); 2 — там же (мг/кг): HS — 18,6, NH₄ — 17,5, Pb — 0,26 [4]; 4 — источник Котельниковский [4]; 5 — источник Сеойский (мг/кг):

Примечание. № 1, 2 — данные Е. А. Баскова, Г. И. Климова, 1963 г.

металлоносность гидрокарбонатных углекислых

№ н/п	Номер водопункта на рисунке	$\Sigma_{\text{мин}}^{\text{макс}}$	$\Gamma/\text{кг}$	C	pH	$\frac{\text{H}_2\text{SiO}_3}{\text{H}_3\text{BO}_3}$	Li	Sr	Al	Fe	Ba	Be
1	10	$\frac{6,1}{18}$	$\frac{6,5}{10}$	$\frac{130}{(2,8)}$	2 (4)	0,6 (He обн.)	0,06 (He обн.)	8,8 (8)	He обн.	0,012 (0,008— 0,02)		
2	10	$\frac{7,3}{15}$	$\frac{6,5}{17}$	$\frac{148}{(0,5)}$	2,9 (1,1)	1,6 (He обн.)	(He обн.)	5,3 (1,1)	(He обн.— 0,02)	(He обн.— 0,02)		
3	11	$\frac{6,9}{23}$	$\frac{7,0}{17}$	$\frac{118}{(2,3)}$	2,4 (9,3)	1,5 (He обн.)	0,044 (He обн.)	1,8 (1,2)	(0,2)	0,005 (0,005— 0,007)		
4	11	$\frac{7,8}{18}$	$\frac{6,5}{20}$	$\frac{130}{(2,1)}$	2,3 (5,3)	0,6 (He обн.)	0,035 (He обн.)	7 (8)	He обн.	(0,01— 0,03)		

1 — источник Травертиновый. Кроме того, установлено (мг/кг): NH₄ — Плотинный (мг/кг): Br — 1,6; 4 — там же (мг/кг): Br — 1,7, Zn — 0,02.

Примечание. № 1—4 — данные Г. И. Климова, С. Н. Сурикова,

азотных терм Байкальской области (мг/кг)

Be	Tl	Cr	Ge	Mn	W	Mo	Cu
0,0001 (0,002)	(0,2)	(0,04)	0,006 (He обн.)	(0,04)	(He обн.)	0,003 (0,004)	(0,002)
0,0001 (He обн.)	(0,008)	(0,02)	0,006 (0,008)	(0,01)	(0,004)	0,003 (0,01)	(0,004)
—	0,04	—	0,012	He обн.	0,04	0,001	—
—	0,24	—	0,024	“	0,48	0,07	—
—	0,003	—	0,01	“	He обн.	0,03	—

NH₄ — 9,8, Ni — (0,004), Zr — (0,02); в другой пробе (мг/кг): Sr — 0,4 (0,08), (0,02), Ga — (0,002), Ni — (0,002); 3 — источник Умхейский (мг/кг): Br — Br — 0,46 [4].

Таблица 5

терм Байкальской области (мг/кг)

Sn	As	Ge	Mn	Ag	Mo	Cu
(He обн.)	0,001 (He обн.)	0,008 (He обн.)	1,8 (He обн.— 0,1)	(He обн.)	(He обн.)	0,002 (He обн.)
(He обн.— 0,001)	0,001 (He обн.)	(He обн.)	(He обн.)	“	0,001 (He обн.)	(0,001— 0,004)
(He обн.)	0,001 (He обн.)	0,008 (He обн.)	(He обн.— 0,05)	(He обн.— 0,002)	(He обн.)	(0,003)
“	0,001 (He обн.)	(He обн.— 0,01)	0,3 (He обн.— 0,1)	(He обн.)	“	(He обн.— 0,002)

0,4, Br — 0,7; 2 — там же (мг/кг): Br — 1,1, Zn — (не обн. — 0,05); 3 — источник 1965 г.

ложить, с одной стороны, общую обогащенность горных пород (в районах этих терм) различными металлами, с другой — наличие здесь вольфрамовых, ртутных и других месторождений.

Заканчивая характеристику металлоносности термальных вод Байкальской области, необходимо хотя бы кратко остановиться на работах И. С. Ломоносова (1974 г. и др.), посвященных оценке перспектив рассматриваемой территории по данным изучения геохимии термальных вод. И. С. Ломоносов пользуется при этом данными не о содержании металлов в термах, а о распределении в них хлора, фтора и серы. По его мнению, исходя из предпосылки выноса в виде комплексных соединений с хлором различных металлов, несколько повышенные содержания хлора в термах Муйско-Чарского района могут служить основанием для рекомендации поисков здесь полиметаллов, меди, золота, олова и ртути [5]. Или, например, повышенные содержания фтора (до 26 мг/кг) в термах Баргузино-Ципинского района достаточны для того, чтобы предполагать «...возможность нахождения здесь месторождений флюорита, а также высоких концентраций лития, бора, бериллия, золота, олова, полиметаллов и некоторых других полезных ископаемых, миграция которых связана с фторидными комплексами» [5, с. 143]. Северо-Байкальский район, где в термах наряду с повышенными содержаниями фтора отмечается некоторое повышение содержания серы (в виде сульфат-иона), И. С. Ломоносов считает возможным «рекомендовать как перспективный на поиски полиметаллов, бериллия, бора, лития, никеля, олова, ртути, золота, флюорита и других месторождений» [5, с. 143, 144]. Очевидно, что для столь ответственных рекомендаций у И. С. Ломоносова нет никаких оснований. То положение, что какие-либо металлы могут образовывать с хлором, фтором и серой устойчивые комплексы, ни в коей мере не может быть основанием для вышеупомянутых прогнозов. Об этом свидетельствует весь огромный фактический материал по гидрогеологии терм и по металлогении.

Вынос различных металлов отдельными гидротермами Байкальской рифтовой зоны обычно невелик из-за их низкой концентрации. Как правило, он составляет единицы и десятки граммов в сутки. Только при весьма значительных расходах источников вынос элементов достигает десятых долей и первых килограммов в сутки. Такие масштабы выноса характерны для источников Хакусского (расход до 80—100 л/с): Mo — 2,3 кг/сут, W — 0,2 кг/сут, Li — 0,2 кг/сут; Ципинского (аналогичный расход): Cs — до 0,2 кг/сут и др. Представляет интерес повышенный вынос фтора водами Хакусского, Шуриндинского и Ципинского источников, достигающий в последнем случае 200 кг/сут и более. В новообразованиях Ципинского источника обнаружен флюорит [5].

В Чикой-Ононском районе Даурской области развиты азотные гидрокарбонатные натриевые термы (табл. 6). Всего здесь

установлено около 25 единичных и групповых выходов азотных терм. Они имеют максимальные температуры не более 40—43° С. При этом даже при наличии головок с подобной высокой температурой на участках разгрузки терм наблюдаются многочисленные выходы аналогичного газового, макро- и микрокомпонентного состава вод с температурой всего лишь 4—10° С. Вероятно, эти воды представляют собой дериваты азотных терм, охладившиеся в результате прохождения их через толщи многолетнемерзлых пород. Дебиты источников азотных терм достигают 300—350 м³/сут. Минерализация вод колеблется от 0,1 до 0,4 г/кг; содержание $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3^{2-}$ при этом находится в пределах 0,05—0,1 г/кг, SO_4^{2-} — 0,005—0,05 г/кг, Cl^- — 0,01—0,02 г/кг, F^- — 0,003—0,012 г/кг, H_2SiO_3 — 0,03—0,12 г/кг. В катионном составе резко преобладает Na^+ (0,04—0,07 г/кг). Основные фактические данные о металлоносности микрокомпонентного состава этих вод приведены в табл. 5. Определение содержаний некоторых микрокомпонентов (Fe, As, Ge, Mo, F, B, Br, I) в ряде проб выполнено химическими методами, а стронция — физико-химическими. Большая часть элементов определялась с помощью полукачественных и приближенных спектральных анализов сухих остатков вод и параллельно частично концентратов вод, полученных на кадмиевой основе. Все эти анализы выполнены в лабораториях ВСЕГЕИ.

Как видно из данных табл. 6 и 7, для азотных терм (и их охлажденных дериватов) характерны довольно высокие содержания вольфрама: средние (фоновые) его концентрации составляют 0,2 мг/кг, максимальные — 0,6 мг/кг (по данным спектральных анализов кадмиевых концентратов, в водах Былыринского и Салбаргайского источников — до 2—3 мг/кг). Данные спектрального анализа сухих остатков вод показывают резко повышенные содержания цинка в водах источников: средние (фоновые) значения — 0,6 мг/кг, максимальные — до 3—9 мг/кг (табл. 7). Значительно более низкие концентрации цинка (до 0,04 мг/кг) определяются в термах химическим анализом. Они отражают, по-видимому, его количества, находящиеся в ионной форме, тогда как большая часть цинка, вероятно, находится в виде комплексных соединений. Характерными для этих вод являются также относительно высокие количества мышьяка (до 0,7 мг/кг), герmania (до 0,015 мг/кг) и молибдена (до 0,08 мг/кг).

Приведенные на рисунке формулы металлоносности терм отчетливо отражают ассоциации преобладающих (основных) металлов в этих термах и гидрохимические аномалии. Ассоциацию преобладающих металлов в микрокомпонентном составе этих терм образуют Li, W, Fe, Al, реже As, Ti (в концентрациях более 0,1 мг/кг); Mo, Ge, Sr относятся к группе металлов-примесей (их концентрации не превышают 0,1 мг/кг). Обращают на себя внимание резко пониженные (обычно на порядок) концентрации стронция по сравнению с сульфатными и гидрокарбо-

Таблица 6

Металлоносность гидрокарбонатных натриевых азотных терм

№ п/п	Номер водо- пункта на ри- сунке	$\Sigma_{\text{мин}}$ г/кг	$t^{\circ}\text{C}$	pH	$\frac{\text{HS}^-}{\text{NH}_4^+}$	$\frac{\text{H}_2\text{SiO}_3}{\text{H}_3\text{BO}_3}$	Li	Sr	Ba	Be	As
1	46	$\frac{0,31}{13}$	9,0	Есть 0,1	112 2	0,24 (0,3)	0,025 (0,01)	(He обн.)	(He обн.)	(He обн.)	
2	46	$\frac{0,30}{10}$	9,1	Есть 0,2	90 1,6	0,175 (0,2)	0,025 (0,01)	"	0,0001 (He обн.)	0,02 (He обн.)	
3	46	$\frac{0,31}{12}$	9,0	Есть 0,2	110 2	0,15 (0,2)	0,025 (0,01)	"	0,0001 (He обн.)	0,06 (He обн.)	
4	46	$\frac{0,30}{10}$	9,0	1,3 He обн.	102 1,6	0,24 (0,2)	0,025 (0,01)	"	0,0001 (He обн.)	0,06 (0,02)	
5	46	$\frac{0,32}{31}$	9,0	Есть 0,1	103 1	0,26 (0,2)	0,025 (0,03)	"	0,0001 (He обн.)	0,05 (0,02)	
6	46	$\frac{0,30}{31}$	9,2	1,3 He обн.	100 1,6	0,27 (0,2)	0,025 (0,03)	(0,01)	0,0001 (He обн.)	0,1 (0,3)	
7	46	$\frac{0,31}{25}$	9,2	—	100 1,6	0,26 (0,3)	0,025 (0,05)	—	(0,0001) (0,4)		
8	47	$\frac{0,32}{42}$	9,0	1,9 0,1	87 3	0,12 (0,1)	0,025 (0,07)	(He обн.)	0,0001 (0,0001)	0,005 (He обн.)	
9	48	$\frac{0,28}{43}$	9,1	Есть 0,4	86 2	0,3 (0,3)	0,14 (0,03)	(0,02)	0,0005 (0,001)	0,06 (He обн.)	
10	48	$\frac{0,31}{41}$	8,4	Есть He обн.	90 3	0,36 (0,2)	0,025 (0,04)	(0,01)	0,0001 (0,0002)	0,1 (0,4)	
11	48	$\frac{0,28}{34}$	8,3	5,1 0,6	86 2	0,27 (0,2)	0,2 (0,02)	(0,015)	0,0004 (0,005)	0,02 (He обн.)	
12	48	$\frac{0,29}{30}$	—	0,9 0,6	86 0,2	0,27 (0,2)	0,1 (0,02)	(0,015)	0,0003 (0,001)	0,04 (He обн.)	
13	48	$\frac{0,35}{30}$	9,0	Есть 0,5	86 3	0,31 (0,3)	0,025 (0,03)	(0,005)	0,0008 (0,001)	0,1 (He обн.)	
14	48	$\frac{0,20}{22}$	8,3	6,4 4	43 1,6	0,13 (0,14)	0,025 (0,01)	(0,003)	0,0008 (0,003)	0,03 (He обн.)	
15	48	$\frac{0,31}{29}$	8,8	13 5	38 1	0,18 (0,07)	He обн. (0,02)	(0,01)	(0,0001) (0,7)		

Чикой-Ононского района Даурской области (мг/кг)

Ge	Cr	Pb	Ga	W	V	Mo	Cu
(0,008)	(0,02)	(He обн.)	(0,003)	(0,1)	(He обн.)	0,015 (0,007)	(0,0008)
0,006 (0,008)	(He обн.)	"	(0,003)	(0,1)	"	(0,007)	0,0025 (0,001)
(0,007)	"	"	(0,003)	(0,1)	"	0,015 (0,006)	(0,0006)
(0,009)	"	"	(0,004)	(0,1)	"	(0,007)	0,0025 (0,0009)
(0,006)	"	(0,006)	(0,008)	(0,09)	"	(0,006)	(0,006)
(0,01)	(0,009)	(0,047)	(0,02)	(0,1)	"	(0,009)	0,0025 (0,002)
(0,008)	(0,06)	(0,002)	(0,009)	(0,1)	(0,004)	0,01 (0,008)	(0,015)
0,015 (0,01)	(0,01)	(0,008)	(0,01)	(0,04)	(He обн.)	0,0075 (0,005)	0,0025 (0,0008)
0,007 (0,008)	(0,003)	(He обн.)	(0,008)	(0,5)	(0,001)	0,015 (0,08)	(0,003)
0,006 (0,007)	(0,01)	(0,001)	(0,01)	(0,2)	(He обн.)	(0,015)	(0,02)
0,0055 (0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,2)	(0,007)	0,015 (0,07)	(0,002)
0,005 (0,005)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,2)	(0,007)	0,015 (0,05)	He обн. (0,04)
0,009 (0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,3)	(0,003)	0,015 (0,08)	He обн. (0,003)
0,004 (0,001)	(0,004)	(0,004)	(0,004)	(0,1)	(0,001)	0,005 (0,04)	(0,003)
(0,004)	(He обн.)	(He обн.)	(0,007)	(0,1)	(0,002)	(0,02)	(0,002)

№ п/п	Номер водо- пункта на ри- сунке	Σ мин г/кг	$t^{\circ}\text{C}$	pH	$\frac{\text{HS}^-}{\text{NH}_4^+}$	$\frac{\text{H}_2\text{SiO}_3}{\text{H}_3\text{BO}_4}$	Li	Sr	Ba	Be	As
16	48	$\frac{0,34}{37}$	9,4	25	107 5	1 0,18 (0,12)	Не обн. (0,04)	(0,01)	(0,0002)	(0,7)	
17	49	$\frac{0,41}{7}$	9,1	8,2	26 5	0,8 (0,9)	Не обн. (0,03)	(0,01)	0,0005 (0,001)	0,1 (Не обн.)	
18	49	$\frac{0,25}{8}$	7,3	—	42 5	0,68 (0,62)	Не обн. (0,05)	(0,01)	0,0001 (0,0002)	0,15 (0,2)	
19	50	$\frac{0,33}{4}$	8,1	—	113 3	0,14 (0,24)	Не обн. (0,03)	(Не обн.)	Не обн.	Не обн. (Не обн.)	
20	53	$\frac{0,30}{28}$	9,0	—	87 2	0,05 (0,08)	Не обн. (0,05)	"	Не обн. (0,0001)	То же	
21	52	$\frac{0,12}{16}$	7,0	—	32 1	0,1 (0,3)	Не обн. (0,03)	(0,006)	(0,0001)	"	
22	51	$\frac{0,15}{16}$	8,1	—	45 0,5	0,07 (0,1)	Не обн. (0,002)	(Не обн.)	(0,0001)	"	

1 — источник Улурыйский, 25/VIII 1966 г. Кроме того, установлено 25/VIII 1966 г. (мг/кг): Fe — (0,1), Al — (0,08), Ag — (0,0001), Zn — 0,002; 12/XII 1966 г. (мг/кг): Fe — (0,03), Al — (0,003), Sb — (0,009), Zn — 0,002; (0,0001), Zn — (3); 6 — там же, 2/XII 1966 г. (мг/кг): Fe — (0,06), Al — 1966 г. (мг/кг): Fe — (9,2), Al — (4,6), Ti — (0,04), Sb — (0,002), Zn — 0,0025 (0,03), Al — 0,005 (0,03), Zn — 0,0025; 9 — источник Бырылинский, 16/VII Zr — (0,003); 10 — там же, 26/VIII 1966 г. (мг/кг): Fe — (0,5), Al — 0,005 0,6 (2,4), Al — (0,7), Ti — (0,2), Y — (0,001), Ni — (0,001), Zr — (0,002); 12 — там же, Ni — (0,002), Zr — (0,005); 13 — там же, 16/VII 1969 г. (мг/кг): Al — (0,5), 16/VII 1969 г. (мг/кг): Fe — 0,2 (0,4), Al — (0,09), Ti — (0,1), Y — (мг/кг): Fe — (0,4), Al — (0,07), Ti — (0,02), Sb — (0,002), Ag — (0,0002), (мг/кг): Fe — (0,2), Al — (0,1), Ti — (0,007), Sb — (0,001), Ag — (0,0002), (мг/кг): Fe — (0,2), Al — (0,3), Ti — (0,09), Ni — (0,002), Zr — (0,003); 18 — (0,0001), Y — (0,002), Ni — (0,001), Zr — (0,002); 19 — источник Талачинский, Верхнеингодинский, 23/VIII 1966 г. (мг/кг): Fe — (0,08), Al — 0,0056 (0,03), Fe — (1,1), Al — 0,06 (1,1), Ti — (0,007), Ag — (0,005), Y — (0,0005); 22 — (0,06), Ag — (0,0001).

Примечание. № 1—8, 10, 15, 16, 18, 19, 21, 22 — данные Г. И. данные В. В. Заморуева, Г. И. Климова.

Ge	Cr	Pb	Ga	W	V	Mo	Cu
(0,007)	(0,002)	(0,002)	(0,01)	(0,1)	(Не обн.)	(0,02)	(0,002)
0,02 (0,009)	(0,001)	(0,001)	(Не обн.)	(0,6)	(0,003)	0,007 (0,007)	(0,002)
(0,008)	(0,01)	(0,01)	(0,002)	(0,2)	(0,003)	(0,002)	(0,002)
0,004 (0,003)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,004)	(0,09)	(Не обн.)	(0,012)	(0,001)
(0,013)	"	"	(0,008)	(0,1)	"	0,01 (0,004)	Не обн. (0,003)
(0,002)	(0,01)	(0,01)	(0,002)	(0,02)	"	0,01 (0,007)	Не обн. (0,002)
0,0007 (Не обн.)	(0,004)	(0,004)	(0,003)	(0,006)	"	0,04 (0,014)	Не обн. (0,001)

(мг/кг): Fe — (0,5), Al — 0,005 (0,3), Ti — (0,008), Ag — (0,0001); 2 — там же, 3 — там же, 25/VIII 1966 г. (мг/кг): Fe — (0,03), Al — (0,08); 4 — там же, 5 — там же, 25/VIII 1966 г. (мг/кг): Al — 0,005 (0,1), Sb — (0,003), Ag — 0,005 (0,09), Sb — (0,006), Ag — (0,002), Zn — 0,0025; 7 — там же, 25/VIII (9,2), Ni — (0,002); 8 — источник Кыринский, 2/XII 1966 г. (мг/кг): Fe — 1969 г. (мг/кг): Fe — (0,3), Al — (0,3), Ti — 0,08, Y — (0,001), Ni — 0,003, (0,03), Ag — (0,0002), Zn — (0,5); 11 — там же, 16/VII 1969 г. (мг/кг): Fe — 16/VII 1969 г. (мг/кг): Fe — (2,3), Al — (0,4), Ti — (0,4), Y — (0,001), Zn — 0,0025, Ti — (0,08), Y — (0,001), Zn — 0,0025, Ni — (0,001), Zr — (0,001); 14 — там же, (0,001), Ni — (0,001), Zr — (0,001); 15 — там же, скв. 1, 15/VIII 1969 г. Zn — (0,07), Ni — (0,002), Zr — (0,002); 16 — там же, скв. 3, 5/VIII 1969 г. Zn — (0,7), Ni — (0,005); 17 — источник Салбартуйский, 17/VII 1968 г. там же, 26/VIII 1966 г. (мг/кг): Fe — (6,2), Al — 0,005 (3,1), Ti — (0,2), Ag — 23/VIII 1966 г. (мг/кг): Fe — (0,3), Al — (0,2), Ag — (0,0001); 20 — источник Ag — (0,0001), Zn — 0,04; 21 — источник Ясутайский, 22/IX 1966 г. (мг/кг): Fe — (0,2), Al — источник Куналейский Асинский, 20/IX 1966 г. (мг/кг): Fe — (0,2), Al —

Климова; № 9, 11—14, 17 — данные Е. А. Баскова, Г. И. Климова; № 20 —

Таблица 7

**Обобщенные данные о содержании металлов
в гидрокарбонатных азотных термах
Чикой-Ононского района Даурской области**

Элементы	Количество определений	% обнаружения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(22)	(54)	(0,00004)	(0,005)
Cu	9 (22)	44 (100)	0,001 (0,003)	0,0025 (0,01)
Zn	11 (22)	73 (22)	0,006 (0,6)	0,04 (9,2)
Ge	10 (22)	100 (96)	0,008 (0,007)	0,02 (0,01)
Sn	(22)	(0)	Не обн.	—
Pb	(22)	(50)	(0,003)	(0,05)
Ga	(22)	(96)	(0,006)	(0,02)
As	18 (22)	77 (36)	0,05 (0,1)	0,15 (0,7)
Sb	(22)	(26)	(0,001)	(0,009)
V	(22)	(41)	(0,001)	(0,007)
Cr	(22)	(68)	(0,008)	(0,06)
Ni	(22)	(45)	(0,001)	(0,005)
Mo	13 (22)	100 (100)	0,014 (0,02)	0,04 (0,08)
W	(22)	(100)	(0,2)	(0,6)
Li	22 (22)	100 (100)	0,25 (0,22)	0,8 (0,9)
Be	16 (22)	88 (68)	0,0003 (0,0006)	0,0008 (0,005)
Sr	22 (22)	100 (100)	0,032 (0,03)	0,2 (0,07)
Ba	(22)	(54)	(0,005)	(0,02)
Zr	(22)	(36)	(0,001)	(0,005)
Y	(22)	(32)	(0,0003)	(0,002)

натными азотными термами Прибайкалья. Довольно четкие гидрохимические аномалии ряда металлов намечаются для вод Улуринского, Былыринского и Салбартийского источников.

Отмеченные особенности металлоносности вод азотных источников района в целом хорошо увязываются с его металлогенической специализацией: вольфрам, мышьяк, флюорит и др. [6]. В связи с относительно незначительными дебитами источников (до 300—350 м³/сут) количество металлов, выносимое ими, невелико и практического значения для добычи не имеет. Однако при рациональном заложении скважин расходы вод могут быть увеличены на один-два порядка. В связи с этим могут представить практический интерес с целью извлечения из них металлов воды Былыринского (W), Кыринского (Ge) и особенно Салбартийского (Ge, W) источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Албагачиева В. А. Условия формирования источников типа акротерм в Северном Забайкалье. М., «Недра», 1965. 78 с.
2. Басков Е. А., Клинов Г. И. Состав и условия формирования минеральных вод Забайкалья.—«Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1963, т. 101, с. 50—88.

3. Гидрологические структуры Восточной Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока СССР. — «Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1974, т. 229, с. 70—82. Авт.: Е. А. Басков, Г. И. Климов, В. А. Кирюхин, С. Н. Суриков, Н. А. Петрова, О. Н. Толстыхин.

4. Гидрология Прибайкалья. М., «Наука», 1968. 170 с. Авт.: Е. В. Пиннекер, Б. И. Писарский, И. С. Ломоносов, Р. Я. Колышева, А. А. Диденко, С. И. Шерман.

5. Ломоносов И. С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, «Наука», 1974. 165 с.

6. Металлогеническая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000. Л., 1971.

7. Ткачук В. Г., Яснитская Н. В. Минеральные воды провинции термальных вод. Байкало-Чарская область. — В кн.: Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Т. 1. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1961, с. 117—125.

УДК 550.42 : 546 : 553.7 (571.15)

А. В. Зуев

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Алтае-Саянская складчатая область занимает территорию горных сооружений юга Сибири (Кузнецкий Алатау, Горный Алтай, Салаир, Западный и Восточный Саяны, Танну-Ола и другие горные хребты, Кузнецкая, Минусинская, Тувинская и другие котловины).

Восточная часть Алтае-Саянской складчатой области, охватывающая осевую часть Восточного Саяна и юго-восточные районы Тувы, характеризуется широким развитием метаморфических сланцев, гнейсов, амфиболитов, мраморов протерозоя (байкальская зона складчатости), прорванных докембрийскими гранитами. Западнее располагается обширная область каледонской складчатости, занимающая основную часть Алтае-Саянской складчатой области, где широкое развитие получили карбонатные и эфузивные осадочные формации (нижний — средний кембрий), прорванные интрузиями гипербазитов, габбро-перидотитов и габбро-плагиогранитов, мощные терригенные флишоидные формации (верхний кембрий — силур) с гранитовыми интрузиями батолитового типа. В западной части региона выделяются районы (Горный Алтай, Салаир), для которых характерно развитие глинисто-сланцевых и карбонатных формаций (девон — нижний карбон). Широко проявился здесь герцинский магматизм (гранитные интрузии). Во впадинах (Минусинская, Тувинская и др.) и прогибах (Кузнецкий и др.) широкое развитие получили красноцветная терригенная формация с подчиненными горизонтами сероцветных и карбонатных морских и ла-

гунных отложений, наземная вулканогенная формация и угленосная формация (девон — пермь).

Алтае-Саянская складчатая область выделяется в качестве самостоятельной Алтае-Саянской металлогенической провинции [5]. В размещении эндогенных месторождений этого региона большую роль играют глубинные разломы: Восточно-Саянский, Сисимо-Казырский, Саяно-Минусинский и др. В пределах рассматриваемой территории выделяется ряд металлогенических поясов и зон, с которыми связаны разнообразные месторождения полезных ископаемых [8, 9].

Алтае-Саянская складчатая область включает ряд гидрогеологических структур разных типов — гидрогеологические массивы и адмассивы, вулканогенные супербассейны, межгорные артезианские и адартезианские бассейны, отличающиеся по характеру скоплений подземных вод [3]. Существенную роль в гидрогеологии рассматриваемого региона играют неотектонические движения, которые привели к интенсивным блоковым поднятиям горных сооружений, к образованию новых и активизации древних глубинных разломов, отличающихся большой протяженностью (сотни километров) и значительной амплитудой (многие километры) при ширине 15—20 км [12]. Гидрогеологические массивы и адмассивы содержат обычно в зоне региональной трещиноватости очень пресные и пресные кислородно-азотные воды с минерализацией 0,02—0,5 г/кг, гидрокарбонатного кальциевого, натриевого и смешанного по катионам состава, с температурой до 8° С. Минерализация и температура подземных вод в гидрогеологических массивах и адмассивах повышаются с глубиной. Так, например, воды вулканогенно-осадочных кембрийских отложений Таштагольского железорудного месторождения (юг Кузнецкого Алатау), вскрытые на глубинах 538—560 м, характеризуются повышенной минерализацией (1,7—2,2 г/кг), сульфатным натриевым составом и температурой 14,6° С [6].

Межгорные бассейны Алтае-Саянской складчатой области содержат пресные и соленые воды, иногда (в Южно-Минусинском бассейне) рассолы. Термальные воды в ее пределах приурочены к крупным межгорным впадинам (начиная с глубин 600—900 м) и к зонам новейших разломов. Особенно интенсивно неотектонические подвижки происходили в южной части региона (Алтай, Тува, Саяны), что фиксируется выходами здесь термальных (азотных и углекислых) вод, связанных с зонами разломов, испытавших наиболее активные подвижки в кайнозойское время.

Изучением термальных источников различных районов Алтае-Саянской складчатой области занимались многие исследователи (Л. Н. Барабанов, А. О. Блюменфельд, К. Ф. Богородицкий, И. М. Борисенко, В. И. Валединский, М. А. Волкова, Е. В. Пиннекер, В. Е. Сидоров и др.). Однако лишь немногие

из них приводят в печати сведения о металлоносности микрокомпонентной составляющей терм отдельных частей рассматриваемого региона [2, 10, 11]. Наряду с этими работами нами использованы фондовые материалы Г. Н. Асташкиной за 1956 г., М. Л. Хромовой за 1963 г. Учтены также данные по Джумалинскому термальному источнику (Горный Алтай), обследованному в 1972 г. О. М. Гирфановой, любезно переданные ею автору. Спектральные и химические анализы микрокомпонентного состава термальных вод производились различными лабораториями. Сравнение имеющихся определений микрокомпонентов в термах (Джумалинский источник, 4 *), выполненных разными лабораториями, указывает на то, что, несмотря на разброс результатов спектральных анализов, повышенные количества ведущих для этих термальных источников металлов (W, Mo) устанавливаются достаточно четко. В связи с этим, а также учитывая то, что большинство анализов выполнено в лаборатории Института земной коры СО АН СССР [10], представляется возможным провести сопоставление и анализ имеющегося фактического материала по металлоносности микрокомпонентной составляющей термальных вод рассматриваемого региона.

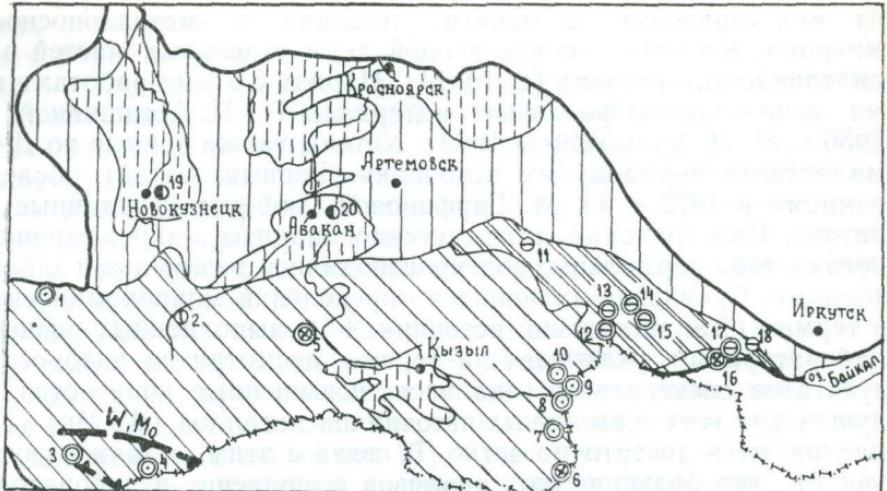
Изученные термальные воды Алтае-Саянской складчатой области принадлежат к следующим группам: 1) азотные гидрокарбонатные и сульфатные; 2) углекисло-азотные и азотно-углекислые гидрокарбонатные; 3) углекислые гидрокарбонатные; 4) азотно-метановые, метаново-азотные, углекисло-азотные и азотные преимущественно хлоридные (рисунок).

Азотные, углекисло-азотные и азотно-углекислые, углекислые термы, развитые в гидрогеологических массивах, имеют минерализацию от 0,2—0,3 до 3 г/кг. Большинство терм пресные (до 1 г/кг). Минимальной минерализацией (0,2—0,5 г/кг) отличаются, как правило, азотные термы (Белокурихинские, Абаканские, Джиглаганские, Маймалышские, Рахмановские и др.). Повышенной минерализацией (1—3 г/кг) характеризуются обычно углекислые, иногда азотно-углекислые и углекисло-азотные термы (Чойганские, Аршан-Тункинские, Шумакские, Даргалские).

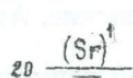
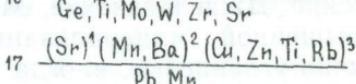
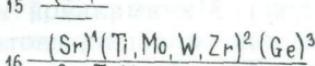
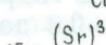
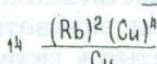
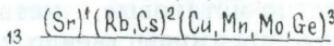
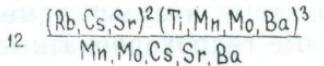
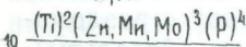
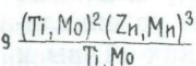
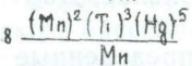
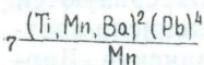
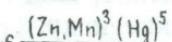
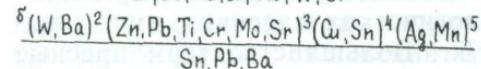
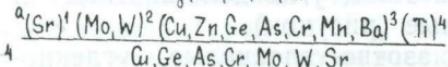
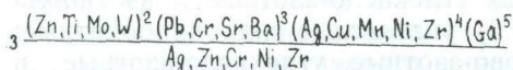
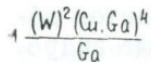
В распределении термальных вод отмечаются определенные закономерности. Углекислые, азотно-углекислые и углекисло-азотные термы распространены в восточных районах Тувы и прилегающих районах Восточного Саяна, где наряду с разломами имеются проявления кайнозойского вулканизма (базальты). Наиболее глубокие региональные разломы выводят азотные термы, известные на Алтае, в Западном Саяне, Туве, которые отличаются более высокой (до 85° С) температурой.

Азотные термы являются щелочными ($\text{pH} > 7$ —8), гидрокарбонатными натриевыми и сульфатными натриевыми. Известен

* Здесь и далее после названия источника дан его номер на рисунке.



- 1 — азотных гидрокарбонатных, реже сульфатных
 2 — углекислых, азотно-углекислых и углекисло-азотных гидрокарбонатных
 3 — азотно-метановых, метаново-азотных, углекисло-азотных и азотных хлоридных;
 4 — районы, где проявления термальных вод не известны;
 5 — термальные воды, по которым имеются данные о металлоносности микрокомпонентной составляющей;
 6 — термальные воды, по которым данные о металлоносности микрокомпонентной составляющей отсутствуют (или же имеются неполные сведения);
 7—11 — проявления термальных вод: 7 — азотных



Схематическая карта термальных вод Алтай-Саянской складчатой области (с данными о металлоносности).

1—3 — провинции термальных вод: 1 — азотных гидрокарбонатных, реже сульфатных, 2 — углекислых, азотно-углекислых и углекисло-азотных гидрокарбонатных, 3 — азотно-метановых, метаново-азотных, углекисло-азотных и азотных хлоридных; 4 — районы, где проявления термальных вод не известны; 5 — термальные воды, по которым имеются данные о металлоносности микрокомпонентной составляющей; 6 — термальные воды, по которым данные о металлоносности микрокомпонентной составляющей отсутствуют (или же имеются неполные сведения); 7—11 — проявления термальных вод: 7 — азотных

только один азотный термальный источник — Абаканский (2), имеющий гидрокарбонатный кальциевый состав, что, возможно, связано с разбавлением этих терм трещинно-грунтовыми водами [10].

Металлы макрокомпонентной составляющей азотных терм характеризуются следующими показателями (мг/кг): натрия содержится от 16 до 235, кальция — от 1 до 60 и магния — от 0 (не обн.) до 10.

Азотные гидрокарбонатные натриевые термы менее минерализованы (минерализация их 0,2—0,4 г/кг), чем сульфатные натриевые (0,4—1,1 г/кг). В азотных термах преобладают различные группы металлов, содержащихся в микрокомпонентном составе. С определенной долей условности здесь можно выделить основную группу металлов микрокомпонентной составляющей (W, Mo, Ti, иногда Sr и Mn). Наиболее высокие содержания вольфрама, молибдена (табл. 1) обнаружены в Джумалинских (4), Рахмановских (3) термах и в термальных водах источника Нилова Пустынь (11). Некоторые азотные термы (Уш-Бельтир, 9, Тарысские, 6, Терехольские, 8) содержат сероводород — до 12—17 мг/кг и более. Рубидий и цезий в азотных термальных водах не обнаружены.

Углекисло-азотные и азотно-углекислые термы (табл. 2) содержат небольшие количества углекислоты (до 190 мг/кг). Около выходов этих терм, так же как и вокруг термальных углекислых источников, отмечаются обильные образования травертинов [10]. По составу углекисло-азотные и азотно-углекислые термы относятся к гидрокарбонатным кальциевым и натриевым. Гидрокарбонатные натриевые термы более минерализованы (0,8—1,3 г/кг), чем гидрокарбонатные кальциевые (0,3—0,4 г/кг); pH вод 6,8—7,1. Содержание натрия в гидрокарбонатных кальциевых термах составляет 4—9 мг/кг, магния — 23—32 мг/кг, кальция — 36—67 мг/кг. Гидрокарбонатные натриевые термы содержат (мг/кг): натрия — 148—264, магния — 6—11, кальция — 47—58. От азотных терм азотно-углекислые и углекисло-азотные термальные источники отличаются меньшей температурой (27—35° С), более низкой концентрацией фтора (следы — 4 мг/кг) и кремнекислоты (2—72,8 мг/кг).

Некоторые источники (табл. 2) содержат повышенные количества рубидия, лития, цезия и стронция.

Углекислые термальные воды насыщены свободной углекислотой — до 1400—2000 мг/кг (Аршан-Тункинские термы, 18). По составу углекислые термы являются гидрокарбонатными

гидрокарбонатных натриевых, 8 — азотных гидрокарбонатных кальциевых, 9 — азотных сульфатных натриевых, 10 — углекислых, азотно-углекислых и углекисло-азотных гидрокарбонатных разного катионного состава, 11 — азотно-метановых, метаново-азотных, углекисло-азотных и азотных хлоридных натриевых; 12 — металлогенические зоны [9]; 13 — граница Алтае-Саянской складчатой области; 14 — границы провинций термальных вод; 15 — формула металлоносности вод.

Таблица 1

Металлоносность азотных терм Алтая-

№ п/п	Номер водопункта на рисунке	$\Sigma_{\text{мин}}$ г/кг	pH	t° C	H_2SiO_3	B	F	Li
Гидрокарбонатные								
1	1	0,3	8,7	37,9	50	Не обн.	140	—
2	8	0,3	7,6	56—58	82	—	—	0,03
3	9	0,4	8,4	84	150	—	8	Сл.
4	10	0,3	7,6	39	57,1	—	2,2	0,07
5	4	0,3	6,9	19	64	1,7	4	—
6	4	—	—	—	—	—	3,2	—
7	3	0,2	—	42	—	—	—	—
8	7	0,4	7,0	21	31,1	1,1	8	Сл.
Сульфатные								
9	6	0,6	>8,4	45,5	95	1,89	12,8	Сл.
10	5	0,4	7,8	22	77,6	—	1,2	0,04
11	16	1,1	8,5	42,2	76,7	0,3	8	3

1 — Белокурихинские термы, скв. З-к, опробована летом 1955 г. Кроме западный выход, 4/VII 1966 г. (мг/кг): Hg — (0,0005); 3 — источник Уш-11/XII 1966 г. (мг/кг): Р — (0,005); 5 — Джумалинский источник, 10/VII Джумалинский источник (мг/кг): Ag — (0,0009), Ga — (0,0006), Cr — (0,015), (0,0006), Cr — (0,02), Pb — (0,01), Ni — (0,002), Zr — (0,002); 8 — Терехоль (Южный Аршан), 14/IX 1966 г. (мг/кг): Hg — 0,0005; 10 — Урынский источник, 1962 г. (мг/кг): Zr — (0,1), Ge — (0,01).

Примечание. № 2, 3, 4, 8—11 — данные Е. В. Пиннекера [10]; 1972 г.; № 6, 7 — данные М. Л. Хромовой, 1963 г.

Металлоносность углекислых, азотно-углекислых и углекисло-азотных гидро

№ п/п	Номер водопункта на рисунке	$\Sigma_{\text{мин}}$ г/кг	pH	t° C	CO_2 своб.	H_2SiO_3	F	Li
Углекислые гидрокарбо								
1	13	2,6	6,4	35,4	664	41,6	0,6	0,46
2	17	1,3	6,3	34,5	591,4	25,5	—	Сл.
3	17	0,9	7,1	22,4	261	—	—	—
4	17	1,3	8,15	31,4	640	—	2,45	—
Углекисло-азотные и азотно-углекислые								
5	14	0,8	6,9	33,5	75	55,9	4	0,23
6	12	1,3	6,8	35,2	190	72,8	1,4	0,04
7	15	0,4	7,0	27	23,1	2,08	Сл.	Сл.
8	11	0,3	7,1	27,5	6,4	15,6	0,6	0,01

1 — источник Чойган (Изиг-Суг), опробован 24/VIII 1967 г. Кроме того, источник 98, 28/VII 1965 г. (мг/кг): Ti — (0,015) Pb — (0,02), Zr — (сл.), 1970 г. (мг/кг): Zn — (0,026); 4 — источник у ванного корпуса, 30/VI 1970 г. источник Даргал (Орто-Гол), 25/VII 1967 г. (мг/кг): Ti — (0,09); 7 —ский, 26/VII 1966 г.

Примечание. № 1, 2, 5—8 — данные Е. В. Пиннекера [10]; № 3,

Саянской складчатой области (мг/кг)

Sr	Va	Mn	Mo	Cu	Zn	Ti	W
термы							
(Сл.)	(Не обн.)	(Сл.)	(Сл.)	(0,003)	(Не обн.)	(Сл.)	(0,127)
Сл.	(Сл.)	(0,15)	(Сл.)	(Сл.)	(Сл.)	(0,02)	Не обн.
Не обн.	(Не обн.)	(0,03)	(0,3)	"	0,07	(0,33)	"
"	(0,02)	(0,02)	(0,48)	(0,029)	(0,026)	(0,2)	"
(1,28)	(0,03)	(0,016)	(0,09)	(0,003)	(0,09)	(0,02)	(0,6)
(0,09)	(0,3)	(0,0009)	(0,2)	(0,006)	(0,4)	(0,1)	0,3
(0,06)	(0,02)	(0,002)	Не обн.	(Сл.)	(Не обн.)	(0,2)	(Не обн.)
Не обн.	(0,1)	(0,2)	Не обн.	"	"	"	"
термы							
Не обн.	(Сл.)	(0,05)	(Не обн.)	(Не обн.)	0,05	(Сл.)	(Не обн.)
3	(Не обн.)	(Не обн.)	(Сл.)	(Сл.)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,3)
"	"	(0,1)	"	"	"	"	"

того, установлено (мг/кг): Ga — (0,003); 2 — Джиглаганская терма, юго-Бельдир (Северный Аршан), скв. 10-р, 1/XI 1968 г.; 4 — источник Маймалыш, 1972 г. (мг/кг): As — (0,01), Ge — (0,016), Cr — (0,022), Pb — (0,003); 6 — Джумалинский источник (мг/кг): Ag — (0,0009), Ga — (0,0006), Cr — (0,015), (0,0006), Cr — (0,02), Pb — (0,01), Ni — (0,002), Zr — (0,002); 8 — Терехоль (Южный Аршан), 14/IX 1966 г. (мг/кг): Hg — 0,0005; 10 — Урынский источник, 1962 г. (мг/кг): Zr — (0,1), Ge — (0,01).

№ 1 — данные Г. А. Асташкиной, 1956 г.; № 5 — данные О. М. Гирфановой, 1972 г.; № 6, 7 — данные М. Л. Хромовой, 1963 г.

Таблица 2
карбонатных термальных вод Алтая-Саянской складчатой области (мг/кг)

Rb	Gs	Sr	Va	Mn	Mo	Cu
натные термы						
0,146	0,118	4	(Не обн.)	0,03	(0,01)	0,03
0,02	Не обн.	1	(0,1)	(0,12)	(Сл.)	(Сл.)
—	—	—	—	0,091	—	0,013
—	—	—	—	0,062	—	0,023
гидрокарбонатные термы						
0,165	Не обн.	Не обн.	(Не обн.)	(Не обн.)	(Не обн.)	(0,008)
0,165	0,1	0,68	(0,027)	(0,013)	(0,06)	(Сл.)
Не обн.	Сл.	0,04	(Не обн.)	(Не обн.)	Сл.	"
"	Не обн.	Не обн.	"	"	"	"

уставлено (мг/кг): Р — 0,008, Ge — (0,01); 2 — источник Шумак: 2 — источник Чойган (Изиг-Суг), опробован 24/VIII 1967 г. Кроме того, источник 98, 28/VII 1965 г. (мг/кг): Ti — (0,015) Pb — (0,02), Zr — (сл.), 1970 г. (мг/кг): Zn — (0,026); 4 — источник у ванного корпуса, 30/VI 1970 г. источник Даргал (Орто-Гол), 25/VII 1967 г. (мг/кг): Ti — (0,09); 7 —ский, 26/VII 1966 г.

4 — данные Н. А. Селиной, В. М. Левченко, Г. М. Шнейзера [11].

кальциевыми, натриевыми и магниевыми с рН 6,3—8,2. Температура этих вод сравнительно невелика (22—35° С). Содержания фтора (до 2,5 мг/кг) и кремнекислоты (25,5—41,6 мг/кг) в углекислых термах небольшие. В то же время они содержат значительно больше калия — до 44,5 мг/кг (Шумак, 17) [10]. Содержание натрия в углекислых термах колеблется от 0 (не обн.) до 360 мг/кг, кальция — от 167 до 334 мг/кг, магния — от 27 до 136 мг/кг. В этих термах встречается железо (Fe^{2+}) — до 0,08 мг/кг. Известно, что характерными элементами углекислых термальных вод являются литий, рубидий, цезий. Существуют различные гипотезы о генезисе этих элементов в водах [1, 4 и др.]. Однако и сейчас этот вопрос остается дискуссионным.

Углекислые термы Алтая-Саянской складчатой области содержат значительные количества лития, рубидия, цезия и стронция (табл. 2), которые образуют основную группу металлов микрокомпонентной составляющей, характерную для углекислых и азотно-углекислых терм рассматриваемого региона.

Анализ металлов микрокомпонентного состава термальных вод Алтая-Саянской складчатой области показывает, что среди азотных гидрокарбонатных термальных вод наибольшим спектром металлов, выявленных в аномальных количествах (в три и более раза по сравнению со средними содержаниями, табл. 3), характеризуются Джумалинские (4) и Рахмановские (3) термы.

Джумалинские и Рахмановские термальные источники (юг Горного Алтая) отличаются значительными содержаниями вольфрама (0,1—0,6 мг/кг), молибдена (0,2—0,48 мг/кг). В аномальных количествах здесь обнаруживаются Cu, Ge, As, Cr, Mn, Mo, W, Sr и др. (Джумалинские термы, 4), Ag, Zn, Cr, Ni, Zr и др. (Рахмановские термы, 3).

С. Р. Крайновым [4] обстоятельно рассмотрены вопросы миграции вольфрама в азотных термах. Повышенные содержания вольфрама в термальных азотных водах гранитоидов объясняются им наличием щелочной среды, благоприятной для миграции вольфрама, и геохимическими особенностями пород. Вольфрам обнаруживается преимущественно в азотных термах, связанных с гранитоидными породами. Это обусловливается довольно высокими средними содержаниями вольфрама в гранитоидах и более благоприятными для выщелачивания формами его нахождения. Максимальные содержания вольфрама выявляются в термах, выщелачивающих гранитоиды, с которыми генетически связаны месторождения вольфрама. Термы, обогащенные вольфрамом (с максимальными его количествами), формируются в провинциях с вольфрамовой специализацией. Содержание вольфрама (0,6 мг/кг), выявленное в Джумалинских термах, превышает известные максимальные количества этого элемента в термальных азотных водах, составляющие 0,2—0,3 мг/кг (термы Яшиль-Куль на Памире, Ходжа-Оби-Гарм в Западном Тянь-Шане и др. [4]).

Таблица 3

**Обобщенные данные о содержании металлов
в азотных гидрокарбонатных термах
Алтая-Саянской складчатой области**

Эле- менты	Количество определений	% обнару- жения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(8)	50	(0,0004)	(0,002)
Cu	(8)	100	(0,005)	(0,03)
Zn	(8)	75	(0,08)	(0,4)
Ge	(8)	50	(0,002)	(0,02)
Sn	(7)	25	(0,001)	(0,009)
Pb	(8)	90	(0,006)	(0,03)
Ga	(8)	50	(0,0005)	(0,003)
As	5 (3)	35 (0)	0,002	0,01
Ti	(8)	100	(0,011)	(0,3)
V	(8)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Cr	(8)	75	(0,007)	(0,02)
Mn	(8)	90	(0,05)	(0,2)
Ni	(7)	75	(0,0003)	(0,002)
Mo	(8)	90	(0,1)	(0,5)
W	(8)	50	(0,2)	(0,6)
Li	5 (4)	100	0,1 (0,8)	0,5 (1,5)
Be	(7)	30	(Сл.)	(0,0003)
Sr	4 (4)	25 (75)	Не обн. (0,4)	Сл. (1,3)
Ba	(8)	60	(0,06)	(0,3)
Zr	(8)	25	(0,0003)	(0,002)
Y	(8)	0	(Не обн.)	(Не обн.)

Известно, что одним из общих поисковых признаков на вольфрам является присутствие минералов вольфрама или его спутников — кассiterита, молибденита, висмутина, арсенопирита, флюорита, литиевых слюд и т. д. [7]. Некоторые из элементов (молибден, мышьяк и др.), входящих в состав этих минералов, обнаружены в повышенных количествах в Джумалинских термах. Меньший спектр элементов, содержащихся в аномальных количествах, выявлен в Рахмановских термальных источниках.

Сопоставление данных по металлоносности Джумалинских и Рахмановских азотных терм, связанных с гранитоидными интрузиями девонского возраста, с металлогенией района показывает, что эти термы, очевидно, отражают влияние рудной минерализации, содержащейся в породах. Рассматриваемые термальные источники развиты в пределах вольфрам-молибденовой металлогенической зоны (см. рисунок). Интересны с точки зрения возможного выявления молибден-вольфрамовой минерализации в породах юго-восточная часть Восточного Саяна и прилегающий район Сангилены, металлогеня которых изучена слабо. В юго-восточной части Восточного Саяна известны азотные

сульфатные термы источника Нилова Пустынь (16), выходящие из гранитов докембрия. Помимо высоких концентраций вольфрама (0,3 мг/кг) в этих термах выявлены повышенные, по сравнению со средними (табл. 4), содержания Ge, Ti, Mo, Zr, Sr.

Таблица 4

**Обобщенные данные о содержании металлов
в азотных сульфатных термах
Алтае-Саянской складчатой области**

Эле- менты	Количество определений	% обнаруже- ния	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(3)	35	(Не обн.)	Сл.
Cu	(3)	65	"	"
Hg	3	65	0,0003	0,0005
Zn	(3)	35	(0,02)	(0,05)
Ge	(3)	65	(0,003)	(0,01)
Sn	(3)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Pb	(3)	0	"	"
Ga	(3)	35	"	Сл. "
As	3	35	"	"
Ti	(3)	65	(0,1)	(0,3)
V	(3)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Cr	(3)	35	"	"
Mn	(3)	35	(0,02)	(0,05)
Ni	(3)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Mo	(3)	65	(0,03)	(0,1)
W	(3)	35	0,1	(0,3)
Pb	3	35	Не обн.	Сл.
Cs	3	0	"	Не обн.
Be	(3)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Sr	3	35	1	3
Ba	(3)	35	(Не обн.)	(Сл.)
Zr	(3)	35	(0,03)	(0,1)
Sb	(3)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Y	(3)	0	"	"

Следует отметить, что, по данным спектральной лаборатории Иркутского государственного университета, в источнике Нилова Пустынь (родник 937) в повышенных количествах обнаружены (мг/кг): Ge — 0,012, Ti — 0,05, а также Be — 0,002, Cr — 0,015, Ag — 0,003; содержание W превышает 0,003 мг/кг [2]. Аномальные количества молибдена (0,3 мг/кг), а также титана (0,33 мг/кг) содержатся в азотных гидрокарбонатных термах Уш-Бельдира (9).

В некоторых азотных термах выявлена ртуть — до 0,0005 мг/кг. В Алтае-Саянской складчатой области известны ртутные месторождения, располагающиеся вдоль некоторых глубинных разломов. Не исключается возможность влияния

ртутной минерализации, содержащейся в породах, на рассматриваемые термы. Во всяком случае, в Западном Саяне, в районе Урынского источника (5), связанного с гранодиоритами девона, известно месторождение ртути [9]. В связи с этим заслуживают внимания (по гидрогеохимическим данным) в отношении возможного наличия ртутного оруденения разломы юго-востока Тувы, к которым приурочены термальные источники Тарысские (6), выходящие из известняков протерозоя на контакте с гранитами палеозоя, и Джиглаганские (8), связанные с гранитами палеозойского возраста. К сожалению, определения ртути в термах рассматриваемого региона немногочисленны. При переопробовании термальных источников этого региона представляется необходимым обязательное определение ртути.

Углекислые, азотно-углекислые и углекисло-азотные термы Алтае-Саянской складчатой области содержат в повышенных количествах различные металлы микрокомпонентной составляющей вод (табл. 5 и 6). В термальных водах Шумакских источников установлены повышенные количества Pb, Mp. Имеются сведения [2], что в отдельных термальных источниках Шумакской группы родников (1-я линия) обнаружены ураганные содержания олова — до 6 мг/кг (до 1%, спектральный анализ).

Таблица 5

**Обобщенные данные о содержании металлов
в углекислых гидрокарбонатных термах
Алтае-Саянской складчатой области**

Элементы	Коли-чество определе-ний	% обнару-жения	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(2)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Cu	11 (2)	100	0,02 (0,015)	0,04 (0,03)
Zn	11	90	0,03	0,12
Ge	(2)	100	(0,0005)	(0,01)
Pb	10 (2)	15	0,004 (0,01)	0,04 (0,02)
Ga	(2)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
As	(2)	0		
Ti	(2)	50	(0,008)	(0,015)
Cr	(2)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Mn	10 (2)	100	0,03 (0,07)	0,09 (0,12)
Ni	11	40	0,02	0,2
Mo	(2)	100	(0,005)	(0,01)
W	(2)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Rb	2	100	0,08	0,15
Cs	2	50	0,06	0,12
Be	(2)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Sr	2	100	2,5	4
Ba	(2)	50	(0,05)	(0,1)
Zr	(2)	0	(Не обн.)	(Не обн.)

Таблица 6

**Обобщенные данные о содержании металлов
в углекисло-азотных и азотно-углекислых
гидрокарбонатных термах
Алтае-Саянской складчатой области**

Эле- менты	Количество определений	% обнаруже- ния	Содержание, мг/кг	
			среднее	максимальное
Ag	(4)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Cu	(4)	100	(0,002)	(0,008)
Zn	(4)	25	(Не обн.)	(Сл.)
Ge	(4)	25	"	"
Sn	(4)	25	"	"
Pb	(4)	50	"	"
Ga	(4)	0	"	(Не обн.)
As	2	0	"	"
Ti	(4)	50	(0,02)	(0,09)
Cr	(4)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Mn	(4)	25	(0,003)	(0,013)
Ni	(4)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Mo	(4)	75	(0,015)	(0,06)
W	(4)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Rb	4	50	0,08	0,165
Cs	4	75	0,025	0,1
Be	(4)	0	(Не обн.)	(Не обн.)
Sr	4	50	0,2	0,7
Ba	(4)	25	(0,006)	(0,03)
Zr	(4)	0	(Не обн.)	(Не обн.)

Это определяет необходимость тщательного переопробования Шумакских термальных источников. Довольно широкий спектр элементов — Mn, Mo, Cs, Sr, Ba, содержащихся в повышенных количествах, выявлен в азотно-углекислых термальных водах источника Даргал (12). Металлоносность пород в районе развития углекислых и азотно-углекислых терм изучена слабо. Здесь получили развитие металлогенические зоны с алюминием, золотом [9].

Азотно-метановые, метаново-азотные, углекисло-азотные и азотные термы (с температурой до 100°С и, возможно, более), иногда с высоким содержанием гелия — до 0,3—1,6% (по данным М. Р. Лозовского и О. К. Овечкиной за 1955 г.), приурочены к глубоким частям крупных межгорных бассейнов Алтае-Саянской складчатой области. Здесь развиты соленые воды (Кузнецкий бассейн, 19), рассолы и соленые воды (Южно-Минусинский бассейн, 20), содержащие бром, йод, калий и другие микрокомпоненты. Повышенные (промышленные) содержания брома — до 250 мг/кг (до 300 мг/л), йода — до 12 мг/кг (до 14 мг/л), калия — до 2400 мг/кг (до 2870 мг/л) обнаружены в рассолах с минерализацией до 255 г/кг (до 305 г/л) Южно-Ми-

нусинского бассейна (скв. 7-р, Быстрянская структура). В этих термальных рассолах выявлены весьма значительные содержания стронция — от 14 до 255 мг/кг (данные автора).

В заключение следует отметить, что анализ металлоносности микрокомпонентной составляющей термальных вод Алтай-Саянской складчатой области позволяет считать возможным использование этих данных для металлогенического прогнозирования крупных тектонических блоков. Наиболее интересными, судя по проведенному гидрохимическому анализу, в отношении возможного обнаружения молибден-вольфрамового оруденения являются южная часть Горного Алтая, а также территории юго-востока Восточного Саяна и прилегающего района Сангилены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсанова Г. И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей (Камчатки и Курильских островов). Новосибирск, «Наука», 1974. 111 с.
2. Доронина М. А. Минеральные лечебные воды. — В кн.: Гидро-геология СССР. Т. 22. Бурятская АССР. М., «Недра», 1970, с. 338—369.
3. Зуев А. В., Учителева Л. Г. Гидро-геологические структуры Западной и Средней Сибири. — В кн.: Основные типы гидро-геологических структур СССР. Л., 1974, с. 60—69.
4. Крайнов С. Р. Геохимия редких элементов в подземных водах (в связи с геохимическими поисками месторождений). М., «Недра», 1973. 235 с.
5. Кузнецов В. А. Алтай-Саянская металлогеническая провинция и некоторые вопросы металлогении полиниклических складчатых областей. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 8. М., Изд-во АН СССР, 1967, с. 275—303.
6. Кузнецова М. А., Постникова О. В., Безроднов В. Д. Формирование подземных вод. — В кн.: Гидро-геология СССР. Т. 17. Кемеровская область и Алтайский край. М., «Недра», 1972, с. 252—258.
7. Магакьян И. Г. Рудные месторождения (промышленные типы металлических полезных ископаемых). Ереван, 1961. 548 с.
8. Магакьян И. Г. Металлогения (главнейшие рудные пояса). М., «Недра», 1974. 304 с.
9. Металлогеническая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000. Л., 1971.
10. Пиннекер Е. В. Термальные воды Саяно-Тувинского нагорья. — В кн.: Вопросы гидро-геологии и гидро-химии. Вып. 4. Иркутск, 1969, с. 93—123.
11. Селина Н. А., Левченко В. М., Шпейзер Г. М. Гидрохимическая характеристика и карбонатно-кальциевое равновесие Шумакских углекислых вод. — «Гидрохим. мат-лы», 1973, т. 57, с. 123—133.
12. Янов Э. Н. Тектоника Саяно-Алтайской складчатой области. — «Сов. геология», 1966, № 8, с. 38—51.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
<i>E. A. Басков, С. Н. Суриков.</i> Металлоносность термальных вод Курило-Камчатской области	5
<i>E. A. Басков, Г. И. Пустовалова.</i> Металлоносность термальных вод Кавказа	30
<i>Л. Г. Учителева.</i> Металлоносность субтермальных и термальных вод Восточных Карпат и Крыма	30
<i>Л. Г. Учителева.</i> Металлоносность термальных вод Памира и Тянь-Шаня	46
<i>E. A. Басков, Н. А. Петрова, С. Н. Суриков.</i> Металлоносность термальных вод горных областей юга Дальнего Востока СССР	59
<i>E. A. Басков, Г. И. Климов, Н. А. Петрова.</i> Металлоносность термальных вод Прибайкалья и Забайкалья	78
<i>A. В. Зуев.</i> Металлоносность термальных вод Алтая-Саянской складчатой области	87
	107

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ СССР

Редактор *B. A. Митракова*
Техн. редактор *T. C. Лысенко*
Корректор *E. E. Вагунина*

Сдано в набор 23/X 1979 г. Подп. в печать 29/XII
1979 г. М-28957. Формат бумаги 60×90^{1/16}.
Печ. л. 7^{3/4}+2 вкл. Уч.-изд. л. 8,12. Тираж 500 экз.
Зак. 632. Цена 1 р. 20 к.

Ленинградская картографическая фабрика
объединения «Аэрогеология»

УДК 550.42 : 546 : 553.7(571.6)

Металлоносность термальных вод Курило-Камчатской области. Басков Е. А., Суриков С. Н.—«Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1979, т. 260, с. 5—30.

Охарактеризованы особенности металлоносности различных типов термальных вод Камчатки и Курильских островов. На основе выделения преобладающих металлов микрокомпонентного состава в термах различного типа и наличия металлов в аномальных (относительно рассчитанных средних) концентрациях выявлены основные региональные закономерности их распространения. Проведено сопоставление распределения металлов в термах региона с их расположением в металлогенических зонах. Указывается на возможность уточнения металлогенических зон, а также прогнозирования территории на рудные полезные ископаемые на основе выделенных гидроминерагенических зон.

Ил. 2, табл. 14, список лит. 28 назв.

УДК 550.42 : 546 : 553.7(479)

Металлоносность термальных вод Кавказа. Басков Е. А., Пустовалова Г. И.—«Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1979, т. 260, с. 30—46.

Освещены вопросы металлоносности микрокомпонентного состава различных групп термальных вод Кавказа. На основе статистической обработки всего имеющегося фактического материала подсчитаны средние и аномальные концентрации ряда металлов. Сделана попытка выделения групп основных металлов и металлов-примесей, характерных для различных терм. В первом приближении намечены региональные закономерности металлоносности микрокомпонентного состава термальных вод, выделен ряд гидроминерагенических зон и отмечена их связь с металлогеническими зонами на территории Кавказа.

Ил. 1, табл. 10, список лит. 17 назв.

УДК 550.42 : 546 : 553.7(477.8/9)

Металлоносность субтермальных и термальных вод Восточных Карпат и Крыма. Учителева Л. Г.—«Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1979, т. 260, с. 46—59.

В работе дан обзор имеющихся материалов о металлоносности термальных вод Восточных Карпат и Крыма. Отмечается, что распространение ассоциаций металлов в термальных водах в общих чертах согласуется с металлогенической характеристикой водовмещающих пород. Наиболее высокими концентрациями металлов характеризуются углекислые термальные рассольные воды.

Ил. 2, табл. 2, список лит. 32 назв.

УДК 550.42 : 546 : 553.7(575)

Металлоносность термальных вод Памира и Тянь-Шаня. Учителева Л. Г.—«Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1979, т. 260, с. 59—77.

На основе использования литературных источников дано сводное описание металлоносности различных групп и типов минеральных термальных вод Памира и Тянь-Шаня. Подсчитаны средние концентрации ряда метал-

лов в термах Памира. Сравнительный анализ металлоносности показал, что распространенные в регионах группы и типы термальных вод значительно отличаются по концентрациям многих содержащихся в них микроэлементов, в том числе и металлов.

Ил. 1, табл. 6, список лит. 27 назв.

УДК 550.42 : 546 : 553.7(571.6—13)

Металлоносность термальных вод горных областей юга Дальнего Востока СССР. Басков Е. А., Петрова Н. А., Суриков С. Н.—«Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1979, т. 260, с. 78—87.

Приводится характеристика металлоносности азотных гидрокарбонатных терм Сихотэ-Алинской складчатой области и Буреинского массива. Установлено, что в пределах Сихотэ-Алиня термы Южного Приморья заметно обогащены молибденом и вольфрамом по сравнению с термами Прибрежного вулканогенного пояса, которым свойственно обогащение полиметаллами. Выявляется четкая связь металлоносности термальных вод с металлогенической специализацией в рассматриваемых районах.

Ил. 1, табл. 2, список лит. 7 назв.

УДК 550.42 : 546.553.7(571.54/.55)

Металлоносность термальных вод Прибайкалья и Забайкалья. Басков Е. А., Климов Г. И., Петрова Н. А.—«Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1979, т. 260, с. 87—107.

Приводится характеристика металлоносности азотных сульфатных и гидрокарбонатных, а также углекислых гидрокарбонатных термальных вод Байкальской, Забайкальской и Даурской складчатых областей. Установленные по преобладающим металлам гидроминерагенические зоны соответствуют металлогеническим зонам. Выявленные аномальные концентрации ряда металлов в термальных водах позволяют предполагать как общую обогащенность горных пород в районах разгрузки гидротерм, так и наличие здесь рудных месторождений.

Ил. 1, табл. 7, список лит. 7 назв.

УДК 550.42 : 546 : 553.7(571.15)

Металлоносность термальных вод Алтае-Саянской складчатой области. Зуев А. В.—«Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.», 1979, т. 260, с. 107—119.

Дана характеристика металлоносности термальных вод Алтае-Саянской складчатой области. Показано, что различные их группы существенно отличаются по характеру металлоносности. Приведены средние содержания металлов для различных групп термальных вод. Анализ металлоносности терм показал возможность использования этих данных для металлогенического прогнозирования отдельных тектонических блоков рассматриваемого региона.

Ил. 1, табл. 6, список лит. 12 назв.

1 р. 20 к.

174
там 260