

УДК 551.481.1

А. М. ПЛЮСНИН, М. К. ЧЕРНЯВСКИЙ, Р. Ц. БУДАЕВ, Е. Г. ПЕРЯЗЕВА

Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ

## ФОРМИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕЖДУРЕЧЬЯ ХИЛКА И ЧИКОЯ

*Анализируется влияние геологического развития территории на формирование гидрографической сети, ресурсов и химического состава поверхностных и подземных вод района. Обосновывается ведущая роль разрывных нарушений в водном и химическом стоке, размещении мест разгрузки подземных вод, расположении пресных и соленых озер. Установлены характерные ассоциации химических элементов в поверхностных и подземных водах, формирующих ресурсы в пределах эоловых песков, вулканогенно-осадочных образований, разрывных нарушений.*

Ключевые слова: блоки пород, открытые и закрытые разломы, формирование ресурсов, микроэлементный и изотопный состав вод.

*An analysis is made of the influence of the territory's geological development on the formation of the hydrographic network, resources and chemical composition of surface and subsurface waters in the region. A dominant role of discontinuities in the water and chemical flow, the location of subsurface water drainage places, and in the distribution of freshwater and salt lakes is substantiated. The analysis revealed inherent associations of chemical elements in surface and subsurface waters that are responsible for the resources within the confines of aeolian sands, volcanogenic-sedimentary formations and discontinuities.*

Keywords: blocks of rock, open and closed faults, formation of resources, trace-element and isotope composition of waters.

### ВВЕДЕНИЕ

В западной части Хилокской межгорной впадины и ее кристаллического обрамления имеются несколько природных феноменов, которые до сих пор не нашли научного объяснения. Например, р. Хилек в приустьевой части круто меняет направление течения с западного на северное. При этом река «пропиливает» западную часть Заганского хребта, не доходя 18 км до долины р. Чикой. Недалеко от этого места, в южных отрогах Малханского хребта ряд ручьев и небольших речек резко меняют свое направление течения. Здесь же располагается несколько бессточных озер, не имеющих поверхностного питания в пределах водосборной площади. На этой территории происходит разгрузка источников подземных вод с дебитом более 10 л/с, имеющих воронки вымывания в эоловых отложениях шириной до сотни метров и глубиной до 30 м. И наконец, в пределах впадины на плоском водоразделе Чикоя и Хилка находится несколько минеральных озер с ограниченной водосборной площадью, которые не имеют постоянного поверхностного питания.

Эти необычные природные явления, по нашему мнению, связаны с особенностями геологического развития исследуемого района, что и обосновывается в данной статье.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления кайнозойской разломной сети и установления геоморфологических особенностей территории применено дешифрирование аэро- и космоснимков, результаты которого подтверждены полевыми наблюдениями. С помощью GPS-навигатора определены географические координаты разрывных нарушений и расположения водопроявлений. Результаты измерения вынесены на снимки, что позволило сопоставить места их размещения с данными дешифрирования, в частности с простиранием разрывных нарушений и расположением массивов песков, не закрепленных растительностью. Химический и изотопный состав проб воды исследованных объектов определен с помощью сертифицированных методик на современном аналитическом оборудовании — масс-спектрометрах ICP MS «Element-XR», «FinniganMAT-252» — в лаборатории физических методов анализа Геологического института СО РАН.

**ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА  
И РАСПОЛОЖЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

С поверхности участок перекрыт чехлом четвертичных эоловых отложений, мощность которых в юго-западной части, на южном борту Хилокской впадины, достигает нескольких десятков метров. В этом районе располагается массив не закрепленных растительностью песков — урочище Большие Пески. Под воздействием ветрового переноса озерно-речных отложений практически на всей площади района сформированы сглаженные формы рельефа, маскирующие обнажения коренных пород и другие проявления разломных тектонических движений на местности.

Коренные горные породы Заганского хребта представлены метаморфизованными гранитами раннего и среднего палеозоя. Современный рельеф связан с формированием в раннемеловое время Заганского гранитогнейсового вала (комплекса метаморфического ядра) [1]. В этот период протекали процессы крупноамплитудного асимметричного растяжения с формированием глубоко проникающего пологого сброса с юго-восточной вергентностью. Для глубинных уровней этой структуры характерно образование гнейсов или гранитогнейсов (пластичное течение), а приповерхностные уровни характеризуются проявлением различных милонитов и ультрамилонитов (хрупкопластичные деформации). Исходя из оценок давлений, можно предположить, что породные комплексы, обнажающиеся в современном срезе, находились в то время на глубинах 15–17 км.

Условия растяжения определяются подъемом мантийного диапира и внедрением в нижние горизонты коры базитовых интрузий, которые наряду с мантийными флюидами обеспечили интенсивный прогрев нижних и средних уровней континентальной коры и возникновение серии очагов плавления. Современная геометрия вала сформировалась в результате изостатического всплывания и изгибания экспонированных ранее пород (рис. 1). Окончательно наблюдаемые формы рельефа образовались в результате эродирования верхней тектонической пластины.

Хилокская впадина выполнена мезозойскими вулканогенно-осадочными образованиями мощностью до километра. Здесь можно выделить следующие возрастные комплексы: триасово-нижнеюрский, представленный тамирской, чернаяровской и цаган-хунтейской свитами; нижне-среднеюрский, представленный ичетуйской, тугнуйской свитами; нижнемеловой, представленный хилокской свитой и гусиноозерской серией.

Разломная сеть имеет преимущественно древнее заложение, отдельные разломы неоднократно подновлялись в ходе геологического развития территории. На юго-восточных склонах Заганского хребта отчетливо фиксируются пологие сбросовые смещения. Тектонические образования южных бортов Заганского поднятия представляют собой фрагменты единой тектонической зоны хрупкопластичного течения.

Для Заганского хребта характерно широкое распространение разрывных нарушений с крутыми поверхностями смещения. В меньшей степени аналогичные нарушения развиты в Хилокской впадине. Ориентировка их разнообразная, но намечается два предпочтительных направления: субширотное, совпадающее с длинными осями поднятия и впадины, и поперечное к ним. Протяженность разломов субширотного простирания достигает десятков километров. Часто трещины выполнены хлорит-эпидотовым агрегатом, а при их сближении возникают маломощные зоны катаклаза и брекчирования. Трещинообразование происходило на малых глубинах при региональном растяжении. Трещины образуют зоны разрывных нарушений мощностью до 500–800 м без четко выраженной поверхности разрыва.

Кинематика зон соответствует сбросам с незначительной сдвиговой составляющей.

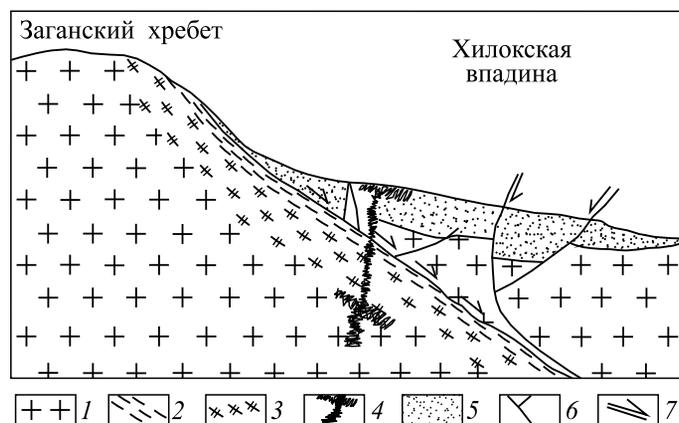


Рис. 1. Разрез комплекса Заганского метаморфического ядра, по [1].

1 — гранитоиды раннего и среднего палеозоя; 2 — милониты по гранитоидам; 3 — разнейсованные граниты (высокотемпературные динамометаморфиты); 4 — щелочные базальты раннего мела; 5 — вулканогенно-осадочные, угленосные юрско-раннемеловые образования; 6 — разрывные нарушения; 7 — направления смещения блоков пород.

В пределах Хилокской впадины выделяется несколько блоков с разновысотным положением фундамента. В целом формирование впадины контролировалось системой разрывных нарушений субширотного заложения сбросового типа. Разломы поперечной ориентации рассекают впадину в нескольких местах и создают отчетливо выраженную блоковую структуру. По-разному ориентированные разломы характеризуются различной геохимической специализацией, которая проявляется в химическом составе поверхностных и подземных вод.

Ранее нами выявлено, что с разломами субширотного заложения в Заганском хребте связаны геохимические ассоциации: (W, SO<sub>4</sub>, -pH); (Ag, Zn), с разломами поперечного заложения — (Mo, Sn, -SiO<sub>2</sub>); (Li, SO<sub>4</sub>, -pH), которые контрастно проявляются в поверхностных и подземных водах [2]. В Хилокской впадине в трещинно-порово-пластовых водах выделяются ассоциации элементов, отражающие геохимические особенности разломов: (Mo, F, SO<sub>4</sub>, Eh, Ca); (Li, K, SiO<sub>2</sub>) и др. В то же время аномалии имеют большие размеры, размытые границы, и их трудно увязать с направлением простирания разломов.

Формирование крутопадающих разрывов связано, вероятно, с периодом изостатического всплытия. По геологическим признакам это событие произошло после возникновения пологих милонитовых зон. В пределах хребта в это время сформировались открытые разломы, которые сейчас в значительной мере заполнены продуктами выветривания; в них заключены трещинно-жильные воды, как правило, с высоким содержанием радона. Во впадинах в это время образовались поперечные разломы, которые оказались слабо раскрытыми в силу небольших вертикальных движений.

Смещение вулканогенно-осадочных пород Хилокской впадины по сбросу, отделяющему ее от Заганского хребта, привело к их перегибанию, в результате чего образовалась серия разломов северо-восточного направления [3]. Протяженным разломом, тянущимся от долины р. Чикой до с. Бичура (общее простирание СВ 55–60°), Хилокская впадина отделена от Малханского хребта (рис. 2, разлом № 1). Он отделяет среднегорный рельеф от низкогорного. При образовании этого разлома породы подверглись растяжению вблизи поверхности, в рельефе он выражен понижениями, ориентированными в северо-восточном направлении, которые сказываются на резком изменении направления поверхностного стока рек Окта, Топка в их верховье. В пределах этого разлома располагается оз. Черное, котловина его вытянута по направлению простирания разлома.

Второй разлом (№ 20) северо-восточной ориентировки, имеющий важное значение для формирования рельефа района и ресурсов подземных вод, тянется от с. Верхний Мангиртуй по долине р. Хилок до с. Окино-Ключи и далее на юго-запад до меридионального разлома. По этому разлому отделились блоки пород, наиболее близко располагающиеся к сбросу, разделяющему Заганский хребет и впадину (блоки III и VIII). Исходя из наших представлений, породы в пределах разлома испытали по простиранию различное деформационное воздействие. В северо-восточной части (по границе блоков I и VIII) породы подверглись интенсивным изгибовым деформациям, частным разрывам и дроблению, в силу чего разлом длительное время остается раскрытым. В этом месте наблюдается поглощение поверхностных вод, в частности теряется часть стока р. Окинки. В юго-западной части (по границе блоков I и III) разлом находится в зажатом состоянии, так как изгибовых деформаций породы не испытали, в рельефе он проявляется 3–4-метровым уступом.

Вполне определенное значение для формирования рельефа имели и разломы № 2, 15. Они разделяют блоки коренных пород с разным наклоном поверхности и углом падения, в рельефе проявляются уступами, но находятся в зажатом состоянии.

Другие, более мелкие, разломы северо-восточной ориентировки, находящиеся вблизи главного сброса, образовались, вероятно, одновременно с вышеперечисленными разломами, однако породы в их пределах не испытали сильного дробления и вертикального перемещения; в дальнейшем разломы были закольматированы продуктами выветривания (№ 6, 7, 18, 19).

Вторая система разломов, имеющая рельефообразующее значение и в значительной степени определяющая сток поверхностных и подземных вод на рассматриваемой территории, представлена разрывами субмеридионального направления. По наиболее крупным из них (разломы № 11 и 12) заложена долина р. Хилок. В северной части территории, где разломы максимально приближаются друг к другу, река «пропиливает» Заганский хребет. Судя по всему, причиной этого здесь стало интенсивное дробление пород при образовании разломов. По разломам в пределах наиболее погруженного блока VIII произошло перегибание пород; их дробление привело к образованию мелких блоков. На юг эти разломы протягиваются до бортового разлома (№ 1), который отделяет впадину от Малханского хребта, здесь они расходятся на расстояние до 4–5 км. Возможно, межразломное пространство на этом участке имеет слабый наклон к востоку (к разлому № 12), что благоприятствует образо-



Рис. 2. Блоковое строение Хилок-Чикойской тектонической перемычки.

I–VIII — блоки пород. Места опробования: *a* — подземных вод, *б* — поверхностных вод; *в* — номер разлома; *г* — разрывные нарушения: сплошная линия — проявленные в рельефе разломы; штриховая — предполагаемые разломы на территории, перекрытой подвижными песками.

ванию поверхностного стока р. Окинки. В результате этого наклона разлом № 11 оказался в верхней части открытым, и по нему осуществляется сток подземных вод неглубокого залегания, ресурсы которых формируются за счет атмосферных осадков, проникающих через песчаные отложения. Эти воды разгружаются в виде высокодебитных источников Старые Ключи и Окино-Ключи. Такое разделение выходов вод на поверхность происходит из-за влияния открытого разлома № 19, по которому отводится часть подземного стока. При встрече потоков подземных вод с зажатым разломом № 20 происходит их подъем к поверхности и формирование родниковых воронок в эоловых отложениях.

В 6–7 км западнее разлома № 11 находится разлом № 16, простирающийся также в субмеридиональном направлении более чем на 40 км от Заганского сброса до долины р. Чикой. Он разделяет крупные блоки пород, наклоненные в западном и восточном направлениях, в силу чего в его верхней части породы испытали изгибные деформации и разрывы и он оказался раскрытым. По нашему мнению, именно по этому разлому, в его северной части, проходит граница водораздела между Хи-

локской и Чикойской котловинами, а на юге он рассекает Малханский хребет. Разлом № 16 оказался наиболее открытым из всех субмеридиональных разломов района. Значительная часть территории, рассекаемой разломом, покрыта хорошо проницаемыми эоловыми отложениями. В центральной части он дренирует интенсивно расчлененный рельеф с отметками высот более 900 м. Хилокская впадина в зоне разлома располагается на отметках 670–680 м, Чикойская — на высоте 725–800 м. По этому разрывному нарушению происходит интенсивное перемещение подземных вод как в северном, так и в южном направлениях. На юге, в месте пересечения разлома № 16 с разрывом № 1, мы наблюдаем разгрузку высокодебитного источника Песчаного. Источник находится на южном склоне Малханского хребта и имеет две воронки вымывания диаметром 5–7 м. Вода изливается на краю массива незакрепленных песков эолового происхождения. Суммарный дебит в головках составляет примерно 15 л/с. Источником сформирован ручей, русло которого заложено в западно-юго-западном направлении по узкому глубокому ущелью, промытому в песчаных отложениях мощностью около 30 м.

В северной части, по нашему мнению, разлом № 16 обеспечивает водными ресурсами горько-соленые озера Тухум и Амбон, по нему происходит подпитка порово-пластовых вод впадины, включая обводненные горизонты Окино-Ключевского угольного месторождения.

В восточной части Хилокской впадины имеются и другие разломы субмеридионального направления, пересекающие ее поперек (№ 13, 14 и др.), по ним заложены русла ручьев, сформированы овраги и происходит разгрузка подземных вод с небольшим дебитом. В частности, в пределах разрывного нарушения субмеридионального направления из-под толщи песчаных отложений в овраге глубиной 6–7 м разгружается источник Хаянский. В северном борту Хилокской впадины с субмеридиональными разломами связаны источники Правый и Левый Харлунский. Их ресурсы формируются на территории, перекрытой отложениями эоловых песков, разгрузка происходит на пересечении разрывных нарушений.

#### ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОПРОЯВЛЕНИЙ

Долины Хилка и Чикоя в нижнем течении имеют направление, совпадающее с преобладающими ветрами. Зажатый между крутыми склонами ветер на этих участках увеличивает скорость, соответственно возрастает его подъемная сила. Не закрепленные растительностью озерно-речные отложения Гусиноозерской котловины и долины Селенги перевеваются в юго-восточном направлении и отлагаются с наветренной стороны склонов. Значительные толщи песчаных отложений накапливаются на южном, юго-западном бортах Хилокской впадины. Часть песчаных отложений не закреплена растительностью, продолжается их перевевание, вследствие чего песком засыпаются лесные массивы, котловины верховых озер. Эоловые отложения хорошо проницаемы для атмосферных осадков, поэтому значительная часть территории не имеет поверхностного стока. Там, где поверхностный сток сформировался, мы наблюдаем интенсивно врезанные в песчаные отложения долины рек с крутыми склонами — Песчанка, Топка, Окинка, Еланка.

Как показал геоморфологический анализ, долины этих рек ориентированы согласно простиранию разрывных нарушений субмеридионального направления. С разломами этого направления связана и разгрузка всех источников подземных вод на данной территории — Старые Ключи, Окино-Ключи, Песчаный, Хаянский, Правый и Левый Харлунский. Все они выводят на поверхность подземные воды неглубокого заложения. Химический состав этих вод формируется в результате взаимодействия атмосферных осадков с эоловыми отложениями и частично с преобразованными в зоне разломов породами. Выходящие на поверхность воды относительно мало минерализованы, со слабощелочной реакцией среды (табл. 1). Различия в их химическом составе связаны в основном со степенью взаимодействия воды с горной породой, которая определяется интенсивностью водообмена, минеральным и геохимическим составом коренных пород, находящихся в зоне разломов.

Наиболее активный водообмен характерен для источников Песчаный, Левый и Правый Харлунский, которые формируют свои ресурсы в расчлененном рельефе. Они выводят на поверхность слабоминерализованные воды с близнейтральной реакцией среды гидрокарбонатного кальциево-натриевого или натриево-кальциевого типа с повышенным содержанием кремниевой кислоты и, вероятно, органического вещества, на что указывают установленные значения перманганатной окисляемости. Из микроэлементов в этих водах установлено относительно высокое содержание фосфора, концентрация которого контролируется растворимостью апатита, фосфатов железа и алюминия [4]. Изотопный состав кислорода и водорода воды близок поверхностным водам региона, что говорит о сопоставимости их темпов водообмена.

Таблица 1  
Макрокомпонентный состав поверхностных и подземных вод Хилок-Чикойского междуречья, мг/л

Точка отпробования*	Геогр. координаты	Водоупункт	Дата отпробования	Дебит, л/с	Na	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	F	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	Перм. окисл.	pH	TDS
1	50°33'120" с. ш. 107°05'139" в. д.	Источник Старые Ключи	30.06.2012	10	64,18	8,04	11,56	225,77	17,92	13,48	4,96	0,69	26,72	0,47	8,44	379,38
2	50°34'482" с. ш. 107°06'628" в. д.	Источник Окино-Ключи	26.06.2013	21	66,97	16,03	13,98	216,61	23,15	22,36	9,93	0,81	26,25	2,43	8,26	390,96
3	50°22'614" с. ш. 107°02'514" в. д.	Источник Песчаный	01.07.2012	8,25	35,58	15,03	30,40	231,87	27,12	5,60	4,25	0,66	29,30	1,65	8,41	378,24
4	50°34'458" с. ш. 107°17'738" в. д.	Источник Хаянский	26.03.2013	13,2	43,40	26,05	24,32	244,07	31,00	12,16	7,09	0,62	27,97	1,18	8,40	413,06
5	50°21'212" с. ш. 107°02'017" в. д.	Источник Рыбный	30.06.2012	14,8	18,30	11,02	3,04	79,32	7,02	3,29	3,55	0,29	30,78	3,53	7,70	145,00
6	50°42'854" с. ш. 106°56'360" в. д.	Источник Левый Харлунский	01.07.2012	0,8	57,41	21,04	41,95	378,31	26,88	11,52	3,90	1,02	17,11	5,10	8,40	553,81
7	50°43'415" с. ш. 106°53'838" в. д.	Источник Правый Харлунский	28.06.2012	0,25	26,75	34,07	17,63	244,07	4,23	5,60	3,90	0,35	29,92	0,94	8,02	355,30
8	50°22'472" с. ш. 106°56'228" в. д.	Источник Дацан Мурочи	02.07.2012	0,1	6,79	14,03	1,22	76,27	2,43	2,96	3,90	0,59	28,75	3,53	7,22	133,54
9	50°28'322" с. ш. 106°58'190" в. д.	Река Песчанка	02.07.2012	1,0	21,33	11,02	2,43	91,53	1,30	1,00	3,90	0,49	30,88	1,10	7,89	156,00
10	50°23'356" с. ш. 107°04'110" в. д.	Оз. Черное	25.06.2013	0,5	24,64	20,04	6,69	122,04	19,66	7,24	4,96	0,26	26,17	1,18	8,17	221,93
11	50°21'502" с. ш. 107°01'882" в. д.	Оз. Рыбное	25.06.2013	90	18,13	16,03	2,43	85,43	4,17	6,24	6,38	0,19	23,20	0,94	8,10	153,70
12	50°31'184" с. ш. 106°55'277" в. д.	Оз. Сунгуртуй	29.06.2012	32,71	26,05	26,05	5,97	176,95	1,01	9,88	3,90	0,27	57,03	26,66	7,57	293,33
13	50°36'235" с. ш. 107°01'488" в. д.	Окино-Ключевский угольный разрез, вода из пласта 3	29.06.2012	70,18	96,19	32,83	32,83	259,33	1,18	296,00	3,55	0,36	22,97	25,09	8,39	776,38
14	50°36'359" с. ш. 107°02'023" в. д.	Окино-Ключевский угольный разрез, вода из пласта 5	01.07.2012	49,04	25,05	12,16	256,28	0,78	0,78	3,28	3,55	0,87	7,11	10,42	8,04	356,27
15	50°35'514" с. ш. 107°01'315" в. д.	Оз. Амбон	24.06.2013	0,5	346,74	24,05	46,21	817,64	1,16	156,41	82,61	1,35	21,68	1,65	8,68	1521,29
16	50°33'528" с. ш. 106°59'094" в. д.	Оз. Тухум	24.06.2013	1,0	391,92	41,08	56,54	732,22	0,96	250,25	202,10	0,29	21,56	1,10	8,76	1715,58
			24.06.2013		1573,7	14,03	49,86	1885,46	5,80	338,34	850,97	3,70	6,41	82,70	9,94	5058,18
			24.06.2013		930,85	4,01	110,66	1281,38	2,61	693,13	23,40	2,75	4,70	82,70	10,50	3458,24

Примечание. Макрокомпонентный анализ проведен в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН методами мокрой химии (аналитики Д. И. Жамбалова, Л. А. Онходосова).

\* Здесь и в табл. 2, 3 номера точек отпробования соответствуют номерам на рис. 2.

Повышенное изотопное отношение урана ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) в Правом Харлунском источнике может быть связано с подпиткой трещинно-жильными водами разлома юго-восточного заложения, который зажат, частично закольматирован и слабопроницаем для поверхностных вод. Возрастание изотопного отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  проявляется в засушливые годы, когда дебит источника незначителен и более существенным становится вклад вод из разлома юго-восточного заложения. Родниковые воронки в месте выхода источников на поверхность, вероятно, сформированы в водообильные годы, когда происходит интенсивный сток по субмеридиональным разрывным нарушениям, выполняющим роль желобов, в которых собираются в единый поток фильтрующиеся через толщу песков атмосферные осадки. Химический состав воды этих источников формируется в основном за счет взаимодействия атмосферных осадков с песками эолового происхождения.

Источники Старые Ключи, Окино-Ключи, Хаянский имеют более замедленный водообмен, чем первая группа источников, соответственно и минерализация вод значительно выше. Вода источников имеет щелочную реакцию среды, относится к гидрокарбонатному натриевому и гидрокарбонатному магниевому-натриевому типам, характеризуется повышенной концентрацией нитрата, сульфата. Из микроэлементов, так же как в источниках первой группы, установлено относительно высокое содержание фосфора, бора, брома и дополнительно к ним стронция, бария, урана, железа, меди и цинка (табл. 2, 3). Изотопные отношения урана примерно такие же, как и в первой группе, однако, учитывая высокое абсолютное содержание урана в этих источниках и, соответственно, значительное изо-

Таблица 2

**Содержание редких металлов, неметаллов и изотопный состав воды и растворенных веществ  
в водопроვляниях Хилок-Чикойского междуречья, мкг/л**

Точка опро- бова- ния	Водопункт	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	B	Br	P	U	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$\delta^{18}\text{O}$ , SMOW	$\delta\text{D}$ , SMOW
1	Источник Старые Ключи	4,95 2,35	0,33 0,27	1,50 0,01	302,0 6,1	12,7 12,7	79,0	99,0	3,8 2,0	3,73 5,03	1,59	-11,5	-97,3
2	Источник Окино-Ключи	3,05 2,06	0,27 0,31	0,28 0,01	408,0 617,0	26,0 16,3	45,0	61,0	172,0 68,2	4,99 4,58	1,65	-11,0	-98,8
3	Источник Песчаный	11,30	1,17	4,93	148,0	11,3	120,0	8,5	193,0	0,24	1,61	-12,0	-100,9
4	Источник Хаянский	5,20	0,81	1,91	583,0	46,0	116,0	92,0	300,0	6,50	1,33	-10,8	-93,2
5	Источник Рыбный	203,0	16,00	55,00	566,0	1,7	1970,0	51,0	19,0	2,48	2,35	-11,8	-105,8
6	Источник Левый Харлунский	0,62	0,18	0,15	76,0	15,0	6,8	7,0	55,0	0,03	1,62	-13,2	-96,9
7	Источник Правый Харлунский	4,04	0,39	0,85	110,0	4,3	36,0	7,7	84,0	0,16	2,12	-11,6	-103,9
8	Источник Дацан Мурочи	0,92	0,33	0,03	342,9	7,1	—	—	5,4	0,62	—	—	—
9	Река Песчанка	1,63	0,15	0,01	175,0	8,1	—	—	90,2	0,53	—	—	—
10	Оз. Черное	14,40	4,53	11,90	224,0	17,0	208,0	34,0	1128,0	0,38	—	-8,8	-76,3
11	Оз. Рыбное	6,10	2,75	7,50	1315,0	16,0	132,0	26,0	159,0	4,51	—	-8,8	-89,9
12	Оз. Сунгуртуй	5,60	1,07	0,40	332,0	15,0	44,0	32,0	35,0	1,23	—	-6,5	-70,0
13	Окино-Ключевский угольный разрез, вода из пласта 3	36,5	4,94	0,08	1635,3	11,0	—	—	13,8	<0,001	—	—	—
14	Окино-Ключевский угольный разрез, вода из пласта 5	43,10	5,88	0,40	2032,9	10,5	—	—	3,5	<0,001	—	—	—
15	Оз. Амбон	10,34	1,60	0,07	507,0	14,2	—	—	251,9	21,40	—	—	—
16	Оз. Тухум	31,95	13,77	0,19	314,4	<0,1	—	—	87,1	70,79	—	—	—

Примечание. Прочерк — нет данных. Микроэлементный и изотопный состав воды (табл. 2, 3) определен в лаборатории физических методов анализа ГИН СО РАН на масс-спектрометрах Element-XR, FinniganMAT-252 (аналитики В. Б. Хубанов, И. В. Звонцов, В. Ф. Посохов).

Содержание тяжелых металлов (мкг/л) в поверхностных и подземных водах Хилок-Чикойского междуречья

Точка отбора	Водопункт	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	As	Mo
1	Источник Старые Ключи	0,72	0,61	40,0	0,11	0,51	0,68	0,069	3,2	2,9
		1,11	0,79	8,5	0,28	0,89	9,70	0,110	4,6	3,4
2	Источник Окино-Ключи	3,45	4,10	65,0	0,29	1,60	1,91	0,068	1,5	2,7
		3,43	1,33	18,3	0,58	1,75	16,80	0,220	2,3	2,7
3	Источник Песчаный	0,75	2,99	6,4	0,42	0,97	3,14	0,085	5,5	1,3
4	Источник Хаянский	0,47	41,00	21,0	1,10	2,12	6,30	0,140	2,9	3,4
5	Источник Рыбный	0,17	0,39	2,7	0,42	0,68	1,96	0,056	93,0	2,1
6	Источник Левый Харлунский	0,12	4,19	142,0	0,57	0,77	1,63	0,047	0,7	0,7
7	Источник Правый Харлунский	0,23	1,73	16,0	0,19	0,77	2,14	0,078	3,1	0,4
8	Источник Дацан Мурочи	0,63	5,88	17,8	0,56	2,46	21,62	0,500	5,0	0,8
9	Река Песчанка	1,20	3,45	22,8	0,44	1,44	11,44	0,120	2,4	0,7
10	Оз. Черное	0,21	17,00	166,0	0,84	1,58	5,50	0,220	8,9	1,0
11	Оз. Рыбное	0,32	6,50	42,0	0,96	1,41	5,20	0,230	4,7	11,3
12	Оз. Сунгуртуй	0,47	37,00	221,0	0,27	0,73	2,92	0,120	2,6	3,3
13	Окино-Ключевский угольный разрез, вода из пласта 3	1,94	61,10	67,6	4,69	<0,03	153,77	0,910	0,4	<0,02
14	Окино-Ключевский угольный разрез, вода из пласта 5	1,00	92,96	9,8	4,09	<0,03	27,56	1,970	1,1	<0,02
15	Оз. Амбон	2,03	10,30	254,9	18,07	3,61	763,02	1,070	28,2	15,6
16	Оз. Тухум	1,31	4,92	104,6	8,73	3,03	94,34	0,980	58,3	88,9

топное разбавление за счет привноса урана-238, можно заключить, что установленные значения указывают на медленный обмен разгружающихся вод. В этих источниках наблюдается относительное утяжеление изотопных отношений кислорода и водорода воды, что связано с увеличением степени взаимодействия воды с породой, гидролизом алюмосиликатов на пути движения вод, в результате чего в раствор поступают тяжелые изотопы из пород.

Несомненно, на формирование химического состава вод, разгружающихся в источниках Старые Ключи, Окино-Ключи и Хаянский, оказали влияние, как и в первой группе, песчаные отложения, через которые фильтровались атмосферные осадки и конденсационные воды. В то же время не вызывает сомнения и влияние горных пород, преобразованных в пределах разрывных нарушений. Об этом свидетельствует возрастание содержания редких щелочноземельных элементов и тяжелых металлов. Вероятно, в этой группе источников происходит разгрузка вод, глубоко проникающих в открытые трещины коренных пород субмеридиональных разрывных нарушений. Частично химический состав вод может формироваться и при взаимодействии с геохимически преобразованными породами в пределах закрытых разломов северо-восточного простирания, которые способствуют разгрузке вод на поверхность.

В источнике Рыбном разгружающиеся воды резко отличаются по микроэлементному составу от всех других источников этого района. Общая минерализация невысокая, вода гидрокарбонатного кальциево-натриевого типа, которая имеет слабощелочную реакцию среды. Выявлено низкое содержание нитрата, хлорида, фтора, органического вещества. Вода источника в значительной степени обогащена редкими щелочными элементами, бором, бромом, мышьяком. Установлены относительно высокие содержание урана и изотопные отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ , что характерно для трещинно-жильных вод. В то же время изотопные отношения кислорода и водорода почти не отличаются от поверхностных вод. Все это, по нашему мнению, указывает на то, что в этом источнике происходит разгрузка трещинно-жильных вод, достаточно глубоко проникающих по разрывному нарушению и имеющих значительный темп водообмена. Химический состав вод этого источника обусловлен их взаимодействием с метаморфически и метасоматически преобразованными породами в зоне разлома.

Грунтовые воды источника Дацан Мурочи дренируют южный склон мезозойского вулкана Большой Кумын. Ресурсы формируются на территории, расположенной южнее размещения эоловых песчаных отложений в хорошо выраженной пади с маломощным чехлом осадочных образований. Вода

источника характеризуется повышенным содержанием меди, цинка, нитрата. Обогащение микроэлементами происходит за счет выщелачивания их из вулканогенных образований, нитрат-ион имеет биогенное происхождение — источник используется для водопоя скота.

Озера Черное и Рыбное формируют свой химический состав под воздействием как разрывных нарушений, так и эоловых отложений. На состав вод оз. Черное большее влияние оказывают фильтрующиеся через толщу песков воды, а на оз. Рыбное — трещинно-жильные воды. В озерах происходит концентрирование растворов при испарении и вымораживании. При этом удаляются молекулы воды с легкими изотопами кислорода и водорода, поэтому мы наблюдаем некоторое утяжеление изотопного состава воды (см. табл. 2). Устойчивые в растворе химические элементы накапливаются, поэтому микроэлементный состав озерных вод контрастно отражает геохимическую специализацию потоков, формирующих озера.

В воде оз. Черное наблюдается высокое содержание фосфора, бора, лития, цезия, железа, марганца, меди (см. табл. 2, 3). Кроме этого здесь фиксируется высокое содержание органического вещества, кремниевой кислоты. Набор концентрирующихся химических элементов и соединений указывает на то, что они в основном поступают из окружающих озеро песчаных отложений. Влияние трещинно-жильных вод проявляется в накоплении в воде озера редких щелочных элементов, которые поступают при растворении метасоматически преобразованных пород. Ранее нами указывалось, что разломы имеют разную геохимическую специализацию и могут оказывать влияние на концентрирование в озерных водах определенной ассоциации химических элементов [5].

В оз. Рыбное обнаруживается значительная концентрация сульфата, стронция, фосфора, бора, молибдена, железа и меди. Накопление сульфата, стронция и молибдена связано с геохимической специализацией субмеридионального разрывного нарушения № 16, в пределах которого располагается это озеро и по которому происходит питание озера трещинно-жильными водами.

Связь питания минеральных озер Тухум и Амбон с разломом № 16 подтверждается их химическим составом, в частности концентрированием в растворе сульфата, молибдена, стронция. Повышенное содержание рубидия, хрома, никеля может объясняться влиянием разломов северо-восточного направления, которые выполняют барражирующую роль для движущихся по субмеридиональному разлому подземных вод. Обогащение этими элементами происходит при подъеме воды к поверхности.

На химический состав воды р. Песчанки, несомненно, оказывают влияние эоловые песчаные отложения, расположенные на ее водосборе, поэтому мы и наблюдаем значительные содержания фосфора, цинка, меди, выщелачивающиеся при фильтрации атмосферных осадков через толщу песков, мощность которой достигает 10–15 м.

Озеро Сунгуртуй находится в долине р. Чикой, его образование, вероятно, связано с изменением русла реки. Озеро представляет собой заросшую камышом старицу, берега которой заболочены, дно илистое. Химический состав воды в основном формируется под воздействием биогенных процессов, связанных с разложением органического вещества донных отложений. По составу вода гидрокарбонатного магниево-кальциево-натриевого типа. Значительная минерализация воды обусловлена испарительным и морозным концентрированием, на что указывают изотопные отношения кислорода и водорода воды (см. табл. 2). Из микроэлементов в озере доминируют железо и марганец.

Статистическая обработка результатов анализа химического состава вод методом парной корреляции и многомерными методами показала, что во всех типах вод этого района содержание бора коррелирует с высоким содержанием брома и фосфора. В этих геохимических особенностях вод, по нашему мнению, проявляется влияние вулканогенно-осадочных образований. На это указывает и присутствие в некоторых источниках мышьяка, меди, цинка, лития. Корреляционная зависимость между этими элементами характерна для вулканических образований [6].

Факторный анализ полученных результатов показал, что химический состав этих вод формируется в основном в результате приповерхностного (с активным участием кислорода и углекислого газа) взаимодействия их с горными породами. Определяющим процессом формирования химического состава вод является, скорее всего, гидролиз алюмосиликатов. Об этом свидетельствуют установленные ассоциации макрокомпонентов —  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Ca, Na, Mg, K, коррелирующих с ростом общей минерализации. Установленная корреляция поведения P, Al, Ti, Fe, Ni может быть связана с влиянием толщи эоловых отложений, через которую фильтруются поверхностные воды и атмосферные осадки. Образование толщи эоловых отложений происходило, вероятно, длительное время. В ней заключено значительное количество органического вещества, продуктов выветривания коренных пород, которые постепенно вымываются и проявляются повышенными содержаниями биогенных элементов и элементов, образующих труднорастворимые гидроокисные соединения.

Особые условия взаимодействия вод с коренными породами разрывных нарушений проявляются в выделении ассоциаций Na, Rb, –Ca; Sr, Mg. В изменениях содержания фтора фиксируется слабая обратная взаимосвязь с концентрацией магния, что, скорее всего, связано с подпиткой глубинных вод разрывных нарушений. Среди микроэлементов выделяется ассоциация Co, Ni, Cu, Zn, Mo. По нашему мнению, она отражает геохимическую специализацию разрывных нарушений субмеридионального направления, в пределах которых формируются ресурсы источников подземных вод.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологическое развитие территории Хилок-Чикойского междуречья предопределило конфигурацию гидрографической сети, формирование ресурсов и химического состава поверхностных и подземных вод этого района. Высокодебитные источники подземных вод на этой территории связаны с разрывными нарушениями субмеридионального направления. В их пределах происходит сосредоточенный сток поверхностных и подземных вод неглубокого заложения. В местах пересечения с разломами северо-восточного направления наблюдается разгрузка подземных вод с образованием огромных воронок вымывания в эоловых образованиях. Химический состав вод определяется взаимодействием их с эоловыми отложениями, вулканогенно-осадочными образованиями, породами, преобразованными в пределах разрывных нарушений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (12–05–98079).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Складов Е. В., Мазукабзов А. М., Мельников А. И. Комплексы метаморфических ядер кордильерского типа. — Новосибирск: Изд-во СО РАН; НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1997. — 197 с.
2. Плюснин А. М., Гунин В. И. Природные гидрогеологические системы, формирование химического состава и реакция на техногенное воздействие (на примере Забайкалья). — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. науч. центра СО РАН, 2001. — 137 с.
3. Плюснин А. М., Чернявский М. К., Будаев Р. Ц., Перязева Е. Г. Геолого-геоморфологические условия формирования ресурсов и химического состава поверхностных и подземных вод Хилок-Чикойской тектонической перемычки // Геодинамика и минерагения Северо-Восточной Азии: Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 40-летию Геологического института СО РАН. — Улан-Удэ: ИД «Экос», 2013. — С. 258–287.
4. Савенко В. С., Савенко А. В. Геохимия фосфора в глобальном гидрологическом цикле. — М.: ГЕОС, 2007. — 248 с.
5. Плюснин А. М., Перязева Е. Г. Гидрологические и гидрохимические особенности озер Еравнинской котловины // География и природ. ресурсы. — 2012. — № 2. — С. 67–74.
6. Овчинников А. М. Гидрогеохимия. — М.: Недра, 1970. — 200 с.

*Поступила в редакцию 24 апреля 2014 г.*