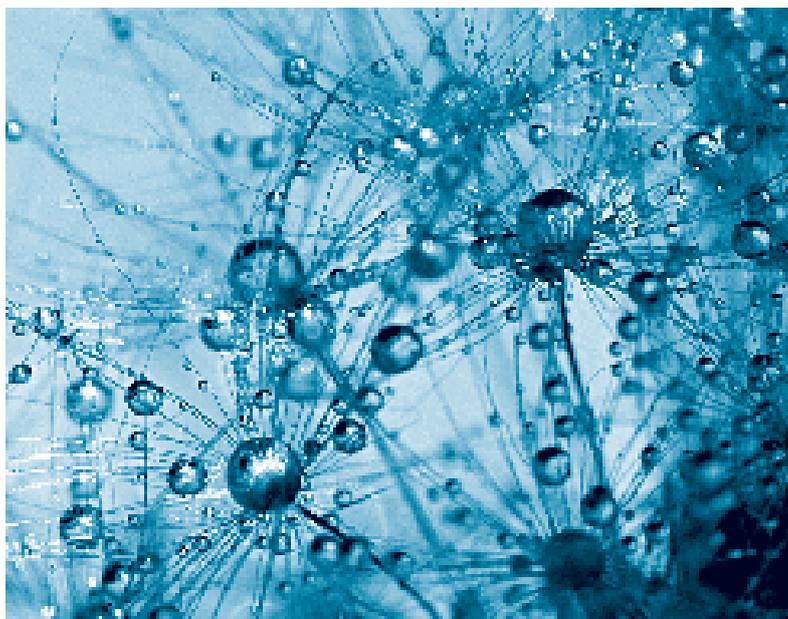


ЕСТЕСТВЕННЫЕ и ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА природных вод БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ КОЛЫМЫ

Выявлены особенности формирования химического состава вод в малых горных реках бассейна верхнего течения р. Колымы, где с начала 30-х гг. 20 в. отрабатываются многочисленные россыпные и рудные месторождения золота. Охарактеризованы основные естественные и техногенные процессы и факторы изменения этих вод. Показано, что наиболее значительные и устойчивые гидрохимические преобразования рек происходят, когда последствия отработки месторождений соответствуют направленности современных неотектонических движений.



Введение

Территория Верхней Колымы, площадь которой составляет около 100 тыс. км², с начала 30-х годов прошлого столетия является ареной интенсивных горных работ по добыче благородных металлов, прежде всего, золота из россыпных и рудных месторождений. При этом происходят широкомасштабные изменения природной среды, особенно в долинах малых горных рек. Под влиянием техногенных факторов меняется внешний облик речных долин, конфигурация подрусловых таликов, тепловой режим переотложенных аллювиальных грунтов и речных потоков, значительные изменения претерпевает химический состав природных, прежде всего поверхностных, вод малых горных рек, водосборная площадь которых не превышает первые сотни квадратных километров. Однако до сих пор влияние есте-

В.Е. Глов*, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геологии нефти и газа и геоэкологии, ФГБУН Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило
Дальневосточного отделения Российской академии наук

ственных мобильных природных факторов и антропогенной деятельности на формирование состава подземных и поверхностных вод на Северо-Востоке России, в том числе в бассейне р. Колымы, изучены слабо.

Цель работы — установить новые закономерности трансформации химического состава природных вод, происходящие в настоящее время под воздействием природных и техногенных факторов в бассейнах малых горных рек с водосборной площадью менее 150 км².

Для достижения поставленной цели нами собраны, систематизированы и проанализированы гидрологические данные, полученные Колымским территориальным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (КУГМС) за многолетний (с 1940 г.) период наблюдений и опубликованные в ежегодниках [1, 2], материалы многолетних режимных наблюдений на стационарных постах бывшей Гидрогеологической экспедиции Северо-Восточного территориального геологического управления (ГЭ

*Адрес для корреспонденции: geoecol@neisri.ru

СВТГУ), работы многочисленных гидрогеологических партий, изучавших поверхностные и подземные воды для выяснения условий отработки россыпей в долинах рек Верхней Колымы и возможности использования этих вод как источников питьевого и технического водоснабжения. В выполнении указанных работ авторы принимали непосредственное участие. Отчеты с результатами этих работ хранятся в Магаданском филиале Фонда геологической информации РФ. Сопоставление всех сведений позволяет не только дать общую оценку качества природных вод, но и отметить тенденции их изменения.

Результаты и их обсуждение

Естественные факторы формирования химического состава природных вод многочисленны, но для водосборной площади р. Колымы основными являются следующие: повсеместное распространение многолетнемерзлых пород (ММП), длительный (> 7 месяцев) холодный период года, гористый характер рельефа, разнообразие геологических и гидрогеологических условий (рис. 1).

Рельеф бассейна Верхней Колымы характеризуется пенеппенизированными нагорьями с абс. отметками до 1100 м и хребтами с абс. отметками до 2000 м. Суммарная площадь речных долин и межгорных впадин не превышает 10 %, заозеренность ничтожно мала. Наиболее крупный водоем — Колымское вдхр., сооруженное в 80-х гг. 20 в. с целью обеспечения работы Колымской ГЭС (КГЭС). В настоящее время создается водохранилище Усть-Среднеканской ГЭС (в нижнем бьефе КГЭС).

В геологическом строении территории основную роль играют терригенные породы пермско-триасово-юрского возраста. В их составе преобладают песчаники, глинистые сланцы. Последние часто пиритизированы. Породы прорваны интрузиями, в основном гранитными. Очень широко развиты сульфидизированные зоны гидротермальной минерализации. На севере территории распространены блоки протерозойских и палеозойских карбонатных и терригенно-карбонатных пород, на Охотско-Колымском водоразделе — вулканогенные покровы мелового возраста. Соответственно, в гидрогеологическом отношении преобладают массивы и адмассивы, вулканогенные структуры. Водоносность их связана с трещиноватостью

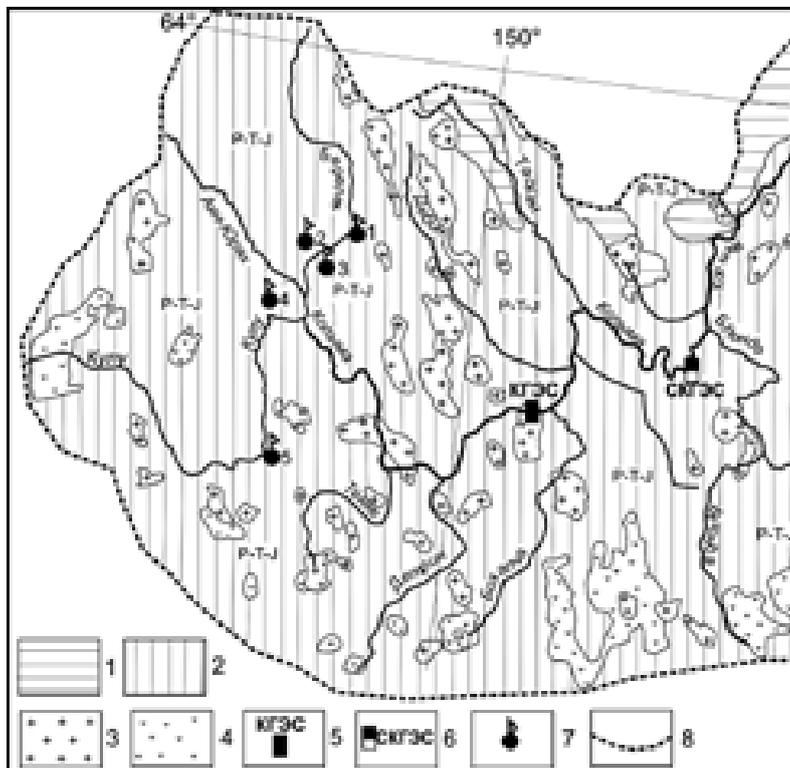


Рис. 1. Схематическая гидрогеологическая карта бассейна Верхней Колымы. 1 — гидрогеологические массивы, сложенные терригенно-карбонатными породами протерозойского и палеозойского возраста (Pt-Pz); 2 — адмассивы, сложенные терригенными породами пермского, триасового и юрского возраста (P-T-J); 3 — гидрогеологические массивы, сложенные гранитами; 4 — вулканогенные супербассейны мелового возраста; 5 — Колымская гидроэлектростанция; 6 — строящаяся Усть-Среднеканская ГЭС; 7 — гидрологические посты, в т.ч. 1- Берелех (пос. Переправа), 2 — Мальдяк, 3 — Заболоченный, 4 — Дегдекан, 5 — Кулу (руч. Встреча); 8 — граница территории исследования.

Л.П. Глотова,
старший научный сотрудник,
ФГБУН Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило
Дальневосточного отделения Российской академии наук

пород в зоне выветривания (водоносные зоны гипергенной трещиноватости — **ВЗГТ**) и локальными в плане зонами трещиноватости, приуроченными к разломам (водоносные зоны локальной трещиноватости — **ВЗЛТ**). Артезианские бассейны в характеризуемом районе развиты незначительно.

ММП имеют сплошное распространение, мощность их в долинах рек достигает 150-180 м. На склонах и вершинах водоразделов мощность ММП превышает 300 и более метров. В связи с этим ВЗГТ практически повсеместно заморожена. В подмерзлотной зоне водоносны только ВЗЛТ, к которым часто приурочены днища речных долин.

В качестве самостоятельных водоносных структур нами выделены потоки грунтовых вод в четвертичных отложениях преимущественно аллювиального генезиса и элювиально-делювиальном слое на горных скло-

Таблица 1

Химический состав поверхностных вод р. Кулу у пос. Кулу

Дата отбора. Расход воды (м ³ /с)	Содержание основных компонентов, мг/ дм ³						Формула химического состава
	Ca	Mg	Na+K	SO ₄	HCO ₃	Cl	
Весеннее половодье							
12.06.56 г. 1410	4	0	0	7	2	1	$M_{0,01} \frac{HCO_3 \ 60SO_4 \ 25Cl_{15}}{Ca_{100}}$
06.06.60 г. 611	3	0	0	6	3	0	$M_{0,01} \frac{HCO_3 \ 62SO_4 \ 38}{Ca_{94}}$
Летне-осенняя межень							
30.09.54 г. 94,7	4	1	4	15	8	0	$M_{0,03} \frac{HCO_3 \ 67SO_4 \ 31}{Ca_{76}Mg_{18}}$
20.09.62 г. 64,2	4	1	1	11	5	1	$M_{0,02} \frac{HCO_3 \ 60SO_4 \ 33}{Ca_{67}Mg_{20}(Na+K)_{13}}$
Летне-осенний паводок							
24.08.42 г. 299	5	2	3	18	6	2	$M_{0,03} \frac{HCO_3 \ 64SO_4 \ 26Cl_{10}}{Ca_{49}Mg_{26}(Na+K)_{25}}$
11.08.62 г. 807	2	1	2	9	5	2	$M_{0,02} \frac{HCO_3 \ 50SO_4 \ 37Cl_{13}}{Mg_{34}(Na+K)_{33}Ca_{33}}$

нах. Потоки грунтовых вод играют важную роль в питании рек. В общем годовом стоке их доля достигает 30 % [3]. С наступлением холодного периода года (начало октября) грунтовые воды становятся единственным источником питания рек. Под их руслами грунтовый поток может существовать в течение всего года, создавая надмерзлотные талики. В зонах пересечения разломов могут образоваться сквозные талики. Грунтовые воды элювиально-делювиальных образований связаны с сезонно-талым слоем, средняя мощность которого 1-1,5 м. В декабре, иногда в январе этот слой перемерзает. Наступает критический водный период [4], когда большинство рек пересыхают или перемерзают.

Гидрохимические следствия происходящих естественных и техногенных процессов
Описанные специфические условия формирования гидрохимических показателей природных вод в долинах отдельных рек усугубляются антропогенной деятельностью, связанной с добычей россыпного, реже рудного золота. При этом значительная часть долин малых горных рек полностью преобразуется — перемещается за контуры полигонов почвенно-растительный слой, русловые отложения и верхняя часть выветрелых коренных пород перемывается с удалением глинистых и пелитовых частиц. Отмытые породы

укладывают в отвалы, на дне долин создают искусственные водоемы — отстойники. При дражной отработке водоемы сохраняются и в зимнее время. Горные работы, как правило, сопровождаются лесными пожарами и активизацией склоновых процессов. В свою очередь, обнажение слабо выветрелых горных пород на значительной площади, их оттаивание под днищами водоемов резко усиливают окисление сингенетических сульфидов в породах и в зонах гидротермальной минерализации, что способствует образованию водорастворимых сульфатов. За счет теплового эффекта от окисления сульфидов резко ускоряется образование сквозных таликов по зонам гидротермальной минерализации [5].

Разумеется, подобные процессы происходят и в естественных условиях, но масштабы их на малых площадях не сопоставимо малы с проявлениями техногенного воздействия. Для примера приведем данные интенсивности поступления сульфат-иона в речные воды для относительно мало нарушенных водосборных площадей и сильно измененных человеком.

Вне зоны влияния горных работ речные воды имеют малую минерализацию (около 0,01-0,05 г/дм³) и преимущественно гидрокарбонатный кальциевый и натриевый состав. Незначительное увеличение минерали-

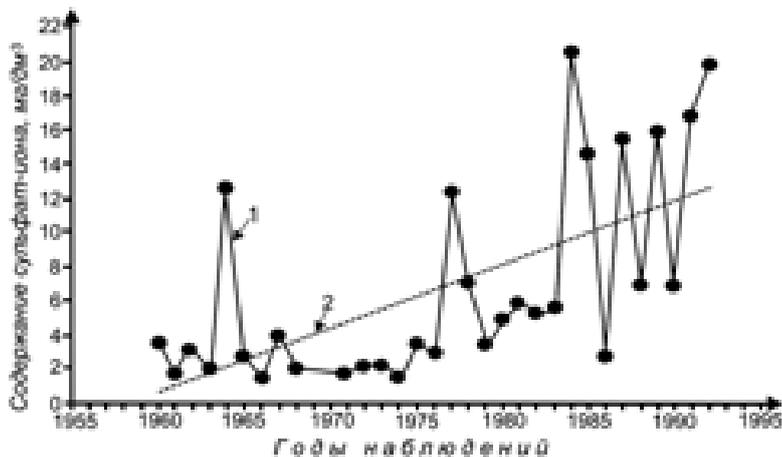


Рис. 2. График колебания количества сульфат-иона в водах ручья Встреча в период весеннего половодья (с 25 мая по 6 июня): 1 — содержание сульфат-иона, мг/дм³; 2- линия тренда.

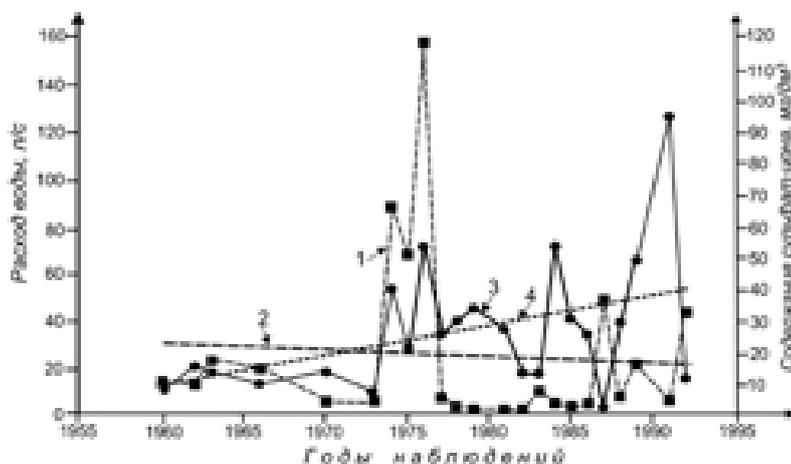


Рис. 3. Соотношение содержания сульфат-иона и расходов воды ручья Встреча в летне-осеннюю межень: 1 — расход, л/с; 2 — линия тренда (расход, л/с); 3 — содержание сульфат-иона, мг/дм³; 4 — линия тренда (содержание сульфат-иона, мг/дм³).

зации наблюдается лишь в конце холодного периода года перед началом весеннего половодья. Например, минерализация воды в р. Кулу выше одноименного поселка при слабой антропогенной преобразованности речной долины на конец апреля колебалась в пределах 0,04-0,05 г/дм³, в августе и сентябре она снижалась до 0,03 г/дм³; химический состав оставался гидрокарбонатным натриевым как в течение года, так и на протяжении ряда лет (табл. 1).

В водотоках с площадью водосбора не более 10 км², долины которых заложены на участках современных неотектонических воздыманий, часто по зонам разломов (склоны долин покрыты щебенчато-глыбовыми

развалами) происходит обогащение сульфатами за счет выщелачивания обнажаемых сульфидизированных мезозойских глинистых сланцев и алевролитов или зон сульфидной минерализации.

На рис. 2 в графической форме приведены данные Колымской воднобалансовой станции по содержанию сульфат-иона в водах ручья Встреча (№5 на рис. 1; бассейн р. Кулу, площадь водосбора 6,57 км²) в период весеннего половодья за 30 лет наблюдений. Состав воды в это время преимущественно сульфатный. В отдельные годы наблюдается смена его на сульфатно-хлоридный или сульфатно-гидрокарбонатный при смешанном составе катионов и минерализации, не превышающей 0,03 г/дм³. В летне-осеннюю межень воды ручья исключительно сульфатные при несколько повышенной минерализации (0,05-0,07 г/дм³) [6]. Можно заметить, что практически при постоянном значении рН (5,9-6) идет постепенное увеличение содержания сульфат-иона, в среднем до 12 мг/дм³, которое к началу 90-х гг. 20 в. почти в 6 раз больше, чем в начальный период наблюдений, хотя никаких горных работ здесь не велось и не ведется.

Анализ данных, сделанный для летне-осенней межени (рис. 3), когда весь сток обеспечен притоком подземных вод, показывает, что содержания сульфат-иона и расходов в этот период стока взаимно не связаны. Сульфат-ион имеет тенденцию к возрастанию, в то время как в объеме общего стока такие закономерности не усматриваются; заметно даже снижение объема стока во второй половине 80-х гг. Последнее связано с общим уменьшением количества осадков в теплое время года, а возрастание сульфат-иона — с активизацией процессов окисления сульфидов в дренируемых осадочных породах.

Мы считаем, что отмеченная гидрохимическая особенность соответствует интенсификации неотектонической активности в бассейне Верхней Колымы в рассматриваемый период, возможно, в том числе связана с сильным Артыкским землетрясением, произошедшим в мае 1986 г. вблизи водораздела рек Колыма и Индигирка [7].

Однако в естественных условиях на Северо-Востоке России водотоки с водами сульфатного состава имеют характер аномальных и являются объектами изучения при гидрогеохимических поисках рудных месторождений.

В бассейнах рек, где отрабатывались и отрабатываются многочисленные месторожде-

Таблица 2

Химический состав природных вод в водотоках, нарушенных горными работами (по материалам ГГЭ СВТГУ)

Водоток, дата отбора пробы воды (№на схеме)	Содержание основных компонентов, мг/дм ³						Формула химического состава
	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	
Мальдяк, 09.12.78 г., (2)	266	91	0	244	500	0	$M_{1,9} \frac{SO_4 72HCO_3 28}{Ca64Mg36}$
Заболоченный, 04.04.79 г., (3)	424	353	18	463	208	6	$M_{3,7} \frac{SO_4 85HCO_3 15}{Mg57Ca42}$
Дегдекан, 29.08.79 г., (4)	130	135	23	146	780	0	$M_{1,2} \frac{SO_4 78HCO_3 13}{Mg59Ca34}$

ния россыпного золота, состав воды не только в ручьях, но и в водотоках с водосборными площадями 100-150 км², как правило, меняется на гидрокарбонатно-сульфатный натриево-кальциевый и магниевый при возрастании общей минерализации в 2-3 и более раз. При этом содержание солей в период промывочного сезона обычно несколько выше, чем перед началом весеннего половодья. Например, по данным наших исследований, минерализация воды р. Омчак ниже рудника им. Матросова в мае 1974 г. составляла 0,1 г/дм³, к концу июля ее значение достигло 0,2 г/дм³, при этом зафиксировано появление нитритов и нитратов, соответственно, до 0,05 и 2 мг/дм³ и увеличение содержания железа до 2 мг/дм³ (в середине августа) [8].

Отчетливое изменение химических свойств воды прослежено во всех техногенно измененных малых реках [6]. Например, в водотоках Мальдяк, Дегдекан, Заболоченный, где в течение ряда лет, начиная с 40-х гг., от-

рабатывались и россыпи, и золоторудные месторождения, рыхлые отложения были неоднократно перемыты и в настоящее время характеризуются как техногенные валуно-щебнистые и дресвяно-галечные грунты. Подземные воды отличаются повышенной минерализацией (на отдельных участках до 3,7-3,8 г/дм³) при сульфатном магниевом и, реже, кальциевом составе (табл. 2).

Суммарно малые водотоки могут изменить состав относительно крупных рек, как, например, р. Берелех с площадью водосбора 4980 км² (у пос. Переправа; №1 на рис. 1). По данным КУГМС [1], в 1956-1957 гг. как в период весеннего половодья, так и летне-осеннюю межень и в паводки минерализация воды и ее гидрокарбонатный кальциевый состав были достаточно стабильными. Но уже с 1959 г. в анионном составе преобладает сульфат-ион, а в последующие годы отмечается четкая тенденция возрастания его количества не только в меженный, но и паводковый периоды (рис. 4).

В долине р. Берелех расположены многочисленные водозаборы, каптирующие подземные воды таликовых зон в целях хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения поселков. Расширение фронта разведочных и эксплуатационных на россыпное золото работ, их приближение к участкам водозаборов закономерно сказывается на ухудшении качества подземных вод. Это связано со значительным увеличением в подземных водах содержания сульфатов, железа и др. тяжелых металлов, снижением pH. По результатам мониторинга в первом десятилетии 21 в., сотрудниками Дальневосточного регионального центра Государственного мониторинга состояния недр «Гидроспецгеология» установлено, что химический состав под-

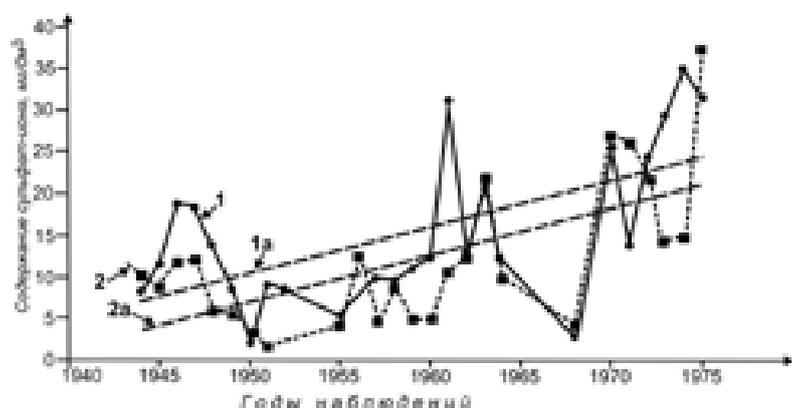


Рис. 4. График колебания количества сульфат-иона в водах р. Берелех (у пос. Переправа) в период летней межени (линия 1 и линия тренда 1а) и летне-осенних паводках (линия 2 и линия тренда 2а).

земных вод в нижнем течении реки вблизи одноименного поселка преимущественно гидрокарбонатно-сульфатный с минерализацией 0,08-0,15 г/дм³ при общей жесткости 0,85-1,77 мг-экв./л. Содержание микрокомпонентов, за исключением железа, в пределах нормы. Соответственно, сток подземных вод в реку вызывает изменения гидрохимического облика поверхностных.

Заметим, что по материалам КУГМС [1] в отдельные годы в нарушенных и не нарушенных человеком реках в начале паводков или половодья общая минерализация воды и содержание сульфат-иона выше, чем при завершении этих фаз режима. Факт интересен тем, что при резком возрастании стока в половодье роль подземных вод в его формировании минимальная, поскольку талая вода стекает по поверхности мерзлых пород. Следовательно, подземные воды сезонно-талого слоя на гидрохимический облик повлиять не могут. Данный парадокс мы увязываем с тем, что промерзание пород в холодный период года приводит к подтягиванию пленочных вод к фронту промерзания, т.е. к дневной поверхности. Здесь вода испаряется, образуя солевой налет, состоящий преимущественно из сульфатов. Этот налет хорошо заметен на горных склонах до выпадения снежного покрова. В начале массового таяния снега талые воды смывают криогенно накопленные соли, вызывая увеличение количества сульфат-иона в речной воде. Например, в р. Кулу (пост Кулу) в условиях ненарушенного режима наибольшая минерализация воды отмечена в первой декаде мая, а минимальная — через месяц в конце половодья. Содержание сульфат-иона уменьшилось, соответственно, с 7,7 до 4,1 мг/дм³.

В теплое время года в межень, в условиях резко континентального климата, происходит испарение подземных вод сезонно-талого слоя, формируется солевой налет на поверхности естественных обнажений. При

Ключевые слова: река Колыма, гидрохимия, поверхностные и подземные воды, криолитозона, посттехногенные изменения

выпадении дождей растворение накопленных солей приводит к повышению минерализации речной воды, в т.ч. и содержания сульфат-иона на площадях развития пиритизированных пород. По мере развития паводка или половодья состав речной воды быстро возвращается к свойственному ему химическому облику.

Заключение

На примере относительно изученных в гидрохимическом отношении рек бассейна Верхней Колымы в формировании химического состава речных вод установлены особенности, которые могут быть распространены на районы со сходными геологическими и геокриологическими обстановками. В условиях современного неотектонического воздымания на площадях, сложенных сульфидизированными горными породами в речных водах происходят естественные процессы возрастания количества сульфат-иона. В этом процессе заметную роль играет криогенное подтягивание пленочных вод к фронту сезонного промерзания с последующей концентрацией водорастворенных солей на дневной поверхности. В речных долинах на участках интенсивной обработки полезных ископаемых за счет обнажения слабо выветрелых горных пород активизируются процессы окисления сингенетичных или гидротермальных сульфидов с последующим преобразованием речных вод в сульфатные.

Не исключено, что в условиях глобального изменения природной среды при антропогенном воздействии гидрохимический облик речных вод горных районов криолитозоны может быстро (в течение десятилетий) измениться. Вероятность данного преобразования и его экологические последствия следует изучать на более обширном материале при участии специалистов-биологов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ДВО РАН №12-III-A-09-197

Литература

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1961-1970 гг. и весь период наблюдений). Т. 19. Северо-Восток / Под ред. М.Р. Чернышевой. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 230 с.



2. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. I. РСФСР. Вып. 17. Бассейны Колымы и рек Магаданской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 429 с.
3. Глотов В.Е. Районирование Северо-Востока России по степени участия подземных вод в формировании общего речного стока // Сб. Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике (по материалам Колымской водно-балансовой станции). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. С. 182-201.
4. Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР // Труды ВНИИ. Т. XVIII. Магадан: ВНИИ-1, 1960. 470 с.
5. Глотов В.Е. Изменение мерзлотно-гидрогеологических обстановок в долинах малых рек бассейна реки Колымы под влиянием техногенных факторов / В.Е. Глотов, И.А. Зуев, В.А.Кириллов // Колыма. 1976. №9. С. 33-35.
6. Глотова Л.П. Современные изменения качества природных вод в долинах горных рек Верхней Колымы // Сб. Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике (по материалам Колымской воднобалансовой станции). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. С. 59-80.
7. Курушин Р.А. Микросейсмические последствия Оймяконского землетрясения / Р.А. Курушин, М.Г. Демьянович, В.М. Кочетков // Сейсмичность и глубинное строение Сибири и Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 50-60.
8. Глотова Л.П. Техногенные изменения природной среды в районе Наталкинского золоторудного месторождения // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2011. №1. С. 10-19.

V.E. Glotov, L.P. Glotova

NATURAL AND TECHNOGENIC CHANGES OF WATER CHEMICAL COMPOSITION IN BASIN OF THE UPPER KOLYMA RIVER

Formation peculiarities of water chemical composition in minor rivers of basin of the Upper Kolyma River where placer and ore gold deposits have been developed since the early 1930s were revealed. Basic natural and technogenic processes and factors of water changes were characterized. It was shown that the most significant and stable river hydrochemical transformations take place then consequences of deposit development are according to direction of current neotectonic movements.

Key words: Kolyma River, hydrochemistry, surface and underground water, permafrost, posttechnogenic changes