

Вестник Московского университета

ISSN 0201—7385
ISSN 0579—9406



НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ
*Основан
в 1946 году*

Серия 4
ГЕОЛОГИЯ

1 / 2001

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас океанов. Тихий океан. 1974. Военно-морской флот.
2. Берлизова Н.Н., Герасимова Г.Н., Кругляков В.В. Литология кайнозойских отложений Северо-Восточной котловины Тихого океана // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1996. Т. 71. Вып. 1. С. 73—87.
3. Берлизова Н.Н., Кругляков В.В. Агрегатный состав осадков зоны Кларион-Клиппертон Тихого океана // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1966. № 5. С. 74—77.
4. Гросс Е.Г., Корсаков О.Д., Кругляков В.В. и др. Генотипы железомарганцевых конкреций приэкваториальной части Тихого океана // Докл. АН СССР. 1985. Т. 282. № 4. С. 938—941.
5. Гросс Е.Г., Корсаков О.Д., Кругляков В.В. Промышленные типы океанических железомарганцевых руд приэкваториальной части Тихого океана на основе генетической классификации // Изучение вещественного состава железомарганцевых конкреций. Кутна Гора, ЧССР. Информ. бюл. 1987. № 1—2. С. 46—53.
6. Мельников М.Е. Минеральный состав и онтогенез железомарганцевых конкреций одного из районов Тихого океана: Автореф. канд. дис. Находка, 1989.
7. Пилипчук М.Ф. Крупномасштабные экологические исследования в рудной зоне Кларион-Клиппертон // Разведка и охрана недр. 1997. № 4. С. 27—28.
8. Скорнякова Н.С. Морфогенетические типы железомарганцевых конкреций радиоляриевого пояса Тихого океана. М., 1986. С. 109—184.
9. Brockett T., Richards C.Z. Deepsea Mining Simulator for Environmental Impact Studies // Sea Technology. 1994. Aug. P. 77—82.
10. Halbach P., Scherhag Ch., Habisch U. et al. Geochemical and mineralogical control of different genetic types of deep-sea nodules Pacific ocean // Miner. deposit. 1981. Vol. 16. P. 59—84.
11. Lenoble J.P. Preparatory Work in the International Authority Reserved Area. IFREMER/AFFERNOD, DORD, YUZHMOREGEOLOGIYA, 1990. P. 74—78.

Поступила в редакцию
28.12.99

УДК 549.393 (470)

А.В. Щербакова, Ф.П. Мельников, А.Б. Макеев

ЗОЛОТО В СУЛЬФИДАХ И САМОРОДНЫХ МЕТАЛЛАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЕ (РАЙИЗСКИЙ МАССИВ, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Хромитовое месторождение Центральное локализовано в апикальной части одноименного дунитового тела вблизи южного контакта Райизского альпинотипного ультрабазитового массива (рис. 1). По особенностям геологического строения и хромитовости месторождение делится на северную и южную части. Северная часть представляет собой дунитовый блок, расположенный между двумя крупными разломами — Третьим и Полойшорским. В пределах северной части месторождения выявлено 51 тело хромитовых руд, образующих две залежи (Западную и Восточную). Южная часть месторождения опущена по отношению к северной. Она сложена дунит-гарцбургитовым комплексом с содержанием дунитов свыше 30%, в ее пределах выявлено 28 хромитовых тел.

Руды месторождения высококачественные, от сплошных до редковкрапленных. Рудным минералом является хромшпинелид — хромит и высокохромистый алюмохромит с содержанием Cr_2O_3 от 53 до 63% и хромовым модулем $Cr_2O_3/\Sigma FeO > 3$. Качество руды вполне отвечает требованиям металлургической промышленности [3, 4]. Месторождение Центральное на сегодняшний день самое крупное в России. С его освоением связаны перспективы развития отечественной черной металлургии. Общие запасы хромито-

вых руд месторождения по сумме категорий $C_1 + P_1$ оценены в 30—35 млн т [4].

Дуниты представлены крупно- и гигантозернистыми разностями с величиной зерен оливина от 2 мм до 12 см. Железистость оливина составляет 2—6% и уменьшается при приближении к рудным телам. В породе присутствует аксессуарный хромшпинелид в количествах 1—10% в виде октаэдров или агрегатов зерен. На поверхности и до глубины 300 м дуниты превращены в α -лизардитовые безмагнетитовые и β -лизардитовые с тонким магнетитом серпентиниты со степенью серпентинизации 20—50%. По данным поискового бурения ниже 300 м залегают неизменные дуниты.

Как хромитовые руды, так и вмещающие породы на месторождении содержат в аксессуарных количествах медно-железо-никелевые сульфиды, самородные металлы и интерметаллиды. Сульфиды и самородные металлы хромитовых месторождений Полярного Урала являются концентраторами элементов группы платины и других благородных металлов. В статье приводятся данные по содержанию и распределению золота в аксессуарных сульфидах и самородных металлах из рудовмещающих дунитов Северной части месторождения Центральное.

Аксессуарная минерализация изучалась в полированных препаратах под микроскопом. Затем най-

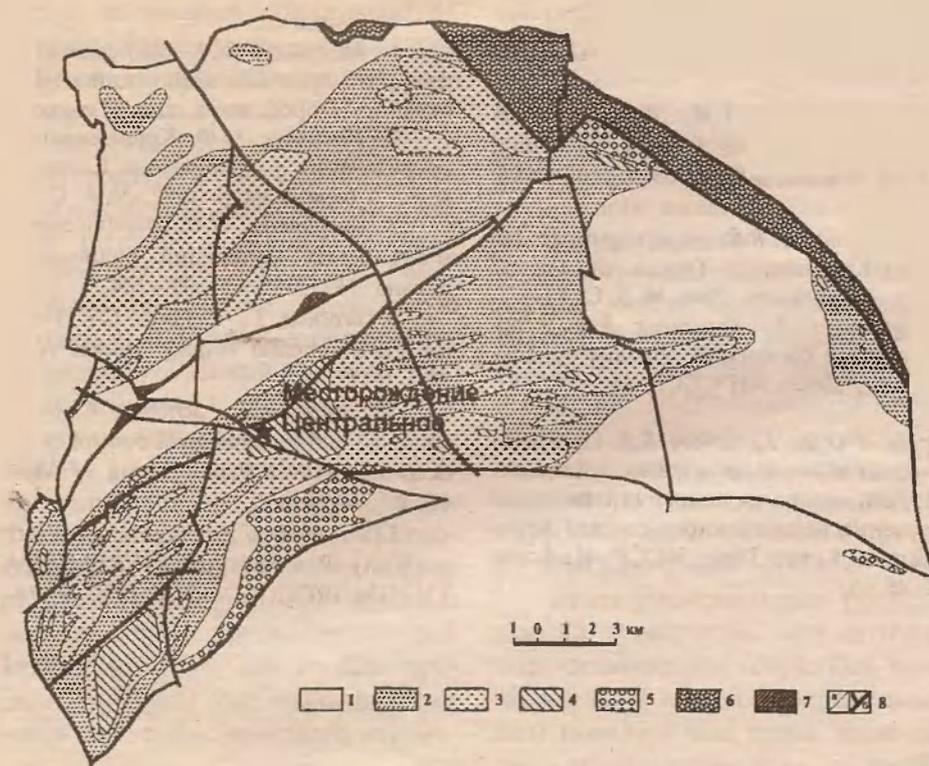


Рис. 1. Схематическая геологическая карта массива Рай-Из: 1 — породы гарьбургитового комплекса; 2—3 — породы дунит-гарьбургитового комплекса (2 — с дунитовой составляющей 10—30%, 3 — с дунитовой составляющей 30—70%); 4 — породы дунитового комплекса; 5 — породы дунит-верлит-клинопироксенитового комплекса; 6 — породы зоны меланжа; 7 — амфиболиты; 8 — границы комплексов пород (а) и тектонические нарушения (б)

денные микровключения сульфидов и самородных металлов анализировались на электронных микроанализаторах в лабораториях микрозондового анализа КНЦ УрО РАН (аналитик В.Н. Филиппов) и кафедры минералогии МГУ (аналитик Н.Н. Коротаяева). Среди диагностированных сульфидов наиболее широко распространены пентландит и его разновидности, несколько реже встречаются миллерит и хизлевудит (рис. 2). В дунитах найдены неназванные мало-сульфидные фазы железа и никеля, реже — железа, никеля и меди, реже всего встречаются сульфиды меди.

Преобладающий самородный металл в околорудных серпентинитах — медь (рис. 3). Цинкистая медь — второй по частоте встречаемости редкий аксессуарный минерал (рис. 3). В образцах хромитовых руд и вмещающих пород из рудопроявлений других массивов Полярного Урала нами обнаружены единичные зерна самородного серебра (рис. 3). Средние составы самородных металлов и сульфидов приведены в таблице.

Выделения сульфидов находятся в прожилках серпентина, на границах зерен аксессуарного хромшпинелида и серпентинизированного оливина и в самих кристаллах хромшпинелида. В зернах оливина

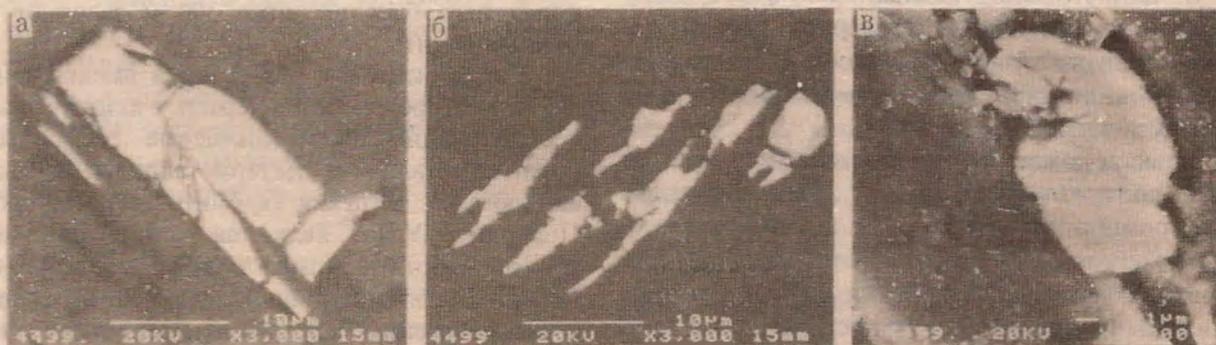


Рис. 2. Микрофотографии сульфидов из рудовмещающих дунитов месторождения Центральное: а — удлиненное зернышко пентландита из рудовмещающих дунитов, х3000; б — миллерит-хизлевудитовые сростки в серпентините, х3000; в — пентландит-хизлевудитовое срастание в серпентинитовой прожилке, х5500

Средние химические составы сульфидов и самородных металлов из рудовмещающих дунитов месторождения Центральное

Число анализов	Fe	Ni	Cu	Co	Au	Ag	Pt	Pd	Os	Ir	Ru	Rh	Zn	S	As	Sb	Минерал
Сульфиды																	
29	31,26	32,64	0,47	1,21	1,18	0,07	0,25	0,23	0,01	0,17	0,08	0,00	0,01	32,82	0,09	0,01	пентландит
20	2,23	68,78	0,21	0,25	0,89	0,10	0,34	0,14	0,00	0,04	0	0,00	0,00	26,56	0,27	0,00	хизлевудит
21	2,50	66,95	0,75	0,74	0,97	0,07	0,34	0,08	0,00	0,04	0,01	0,00	0,01	27,30	0,54	0,01	миллерит
4	2,13	0,32	75,24	0,00	0,39	0,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,47	0,00	0,00	халькозин
3	2,78	3,03	65,05	0,35	0,79	0,00	0,03	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,38	2,45	0,00	ковеллин
3	10,71	0,30	62,23	0,07	0,95	0,03	0,22	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,50	0,22	0,00	борнит
Самородные металлы и интерметаллиды																	
10	3,52	0,22	56,53	0,00	2,15	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,60	0,83	0,00	0,00	Cu ₂ Zn
10	1,39	0,17	94,79	0,16	0,49	0,00	0,32	0,00	0,10	0,12	0,01	0,06	0,00	0,93	0,00	0,00	Cu
2	1,79	1,22	76,40	0,13	17,26	0,23	0,49	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00	Cu—Au
2	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	98,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,00	0,00	0	Ag

сульфидов не наблюдалось. Размер большинства включений составляет от нескольких микрон до нескольких десятков микрон. В редких случаях размеры зерен сульфидов достигают нескольких миллиметров и наблюдаются невооруженным глазом.

Сульфидные выделения имеют различные формы: неправильные, изометричные, палочковидные, игольчатые, волосовидные выделения, реже зерна с кристаллографическими очертаниями находятся в сростании с серпентином. В некоторых образцах в отдельных сульфидных включениях наблюдается совпадение ориентировок серпентиновых волокон и выделений сульфидов, что может свидетельствовать об одновременности образования этих минералов. Среди включений сульфидов в кристаллах акцессорного хромшпинелида чаще встречаются изометричные и округлые выделения, несколько реже — кристаллы. Часто включения сульфидов являются многофазовыми, состоящими из двух и более минералов (рис. 2).

Включения самородных металлов также расположены в серпентиновых прожилках и шнурах. Иногда самородные металлы (чаще всего медь) находятся в тесном сростании с серпентином. Самородная медь присутствует в виде выделений изометричной, неправильной и амебовидной формы, их размеры колеблются от нескольких микрон до нескольких сантиметров. Зерна цинкистой меди имеют изометричную форму, их размеры не превышают нескольких десятков микрон [5]. Самородное серебро представлено изометричными зернами, иногда с дендритовидными выростами по краям.

В рудовмещающих дунитах месторождения Центральное сульфиды преобладают над самородными металлами. Сростки сульфидов и самородных металлов довольно редки. Нами установлены сростки меди с пентландитом и меди с ее сульфидами.

Лучшим концентратором золота из самородных металлов и интерметаллических соединений является медь (золотистая медь содержит его > 17 мас.%, а

обычная медь — десятые доли процента и выше), а из сульфидов — пентландит (> 1 мас.%) (рис. 4). Несколько ниже содержание золота в цинкистой меди (> 2 мас.%), в хизлевудите и миллерите (~ 1 мас.%). Самородное серебро отличается высокой химической чистотой и не содержит практически никаких примесей. Из сульфидов меди только борнит обладает средним содержанием золота ~ 1 мас.%, однако из-за малого числа анализов сульфидов меди точно оценить содержание в них Au затруднительно.

Для оценки меры разброса содержаний Au в названных минералах нами рассчитаны стандартные отклонения по выборкам из 10 значений для пентландита, миллерита, хизлевудита, сульфидов меди, меди, цинкистой меди и самородного железа. Полученные значения вынесены на диаграмму (рис. 5). Наиболее стабильными содержаниями Au отличаются пентландиты. Несколько больше разброс содержания Au в миллерите, хизлевудите и сульфидах меди. Для меди и цинкистой меди свойственны самые резкие колебания содержания Au.

Формы нахождения Au в сульфидах и самородных металлах различны. Очевидно, что золото присутствует в самородной и цинкистой меди в виде твердого раствора. Схожесть кристаллических структур Au и Cu допускает полную смесимость в ряду Cu—Au. Отсутствие примесей Au в самородном серебре можно объяснить возможными отклонениями структуры серебра от кубической с образованием его гексагональной модификации [6]. В сульфидах же золото скорее всего находится в тонкодисперсном состоянии в виде мельчайших самородных частиц, которые могли осажаться на наиболее энергетически активных участках растущих кристаллов сульфидов.

Мы полагаем, что источником золота являются прежде всего сами ультрабазиты. Кларк Au в породах ультраосновного ряда составляет ~ 5·10⁻⁷% (5 мг/т) [2]. Золото начинает концентрироваться в околорудных дунитах и рудах в процессе их образо-



Рис. 3. Микрофотографии самородных металлов и интерметаллических соединений из рудовмещающих дунитов месторождения Центральное: а — гантелеобразное выделение самородной меди в серпентините, $\times 1400$; б — округлое зернышко цинкистой меди, $\times 5500$; в — дендритовидное выделение самородного серебра, $\times 10000$; г — очень маленькое включение самородного железа в серпентините, $\times 10000$

вания на подкоровом уровне и в нижних частях земной коры. Изученные сульфиды и самородные металлы образовались на стадии регрессивной серпентинизации ультрабазитов. На этом этапе эволюции ультрабазитов и хромитовых руд происходят перераспределение и переотложение минералообразующих металлов при помощи флюидов, возможно, хлоридно-карбонильного состава. Золото может об-

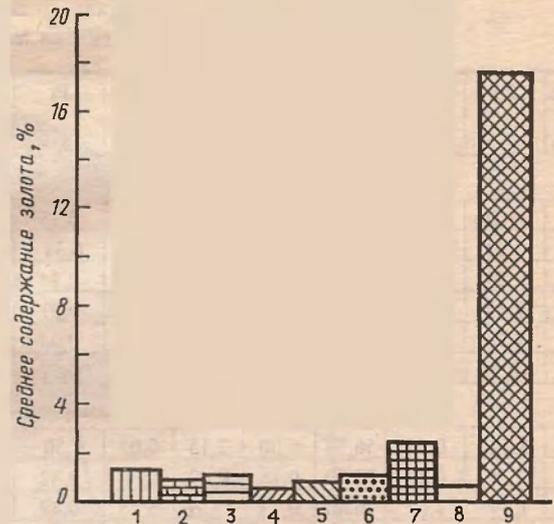


Рис. 4. Среднее содержание золота в сульфидах и самородных металлах: 1 — пентландит; 2 — хизлевудит; 3 — миллерит; 4 — халькозин; 5 — ковеллин; 6 — борнит; 7 — цинкистая медь; 8 — медь; 9 — золотистая медь

разовывать комплексные хлоридные $[\text{AuCl}]^-$ и $[\text{AuCl}_4]^-$, тиосульфатные $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$ водные растворы [1], а также карбонил-галогениды $[\text{AuCl}(\text{CO})]_n$. Такое соединение переходит в газовую фазу уже при температуре $\sim 80^\circ\text{C}$ [3]. При перераспределении Au предпочтительнее входит в самородную медь и ее интерметаллиды, нежели в сульфиды.

Месторождение Центральное можно рассматривать как комплексное. Несерпентинизированные разности рудовмещающих дунитов и бедные хромитовые руды являются сырьем для производства качественных форстеритовых огнеупоров, кроме того, определенную ценность должны представлять сульфиды и самородные металлы во вмещающих породах и рудах. За исключением некоторых случаев наход-

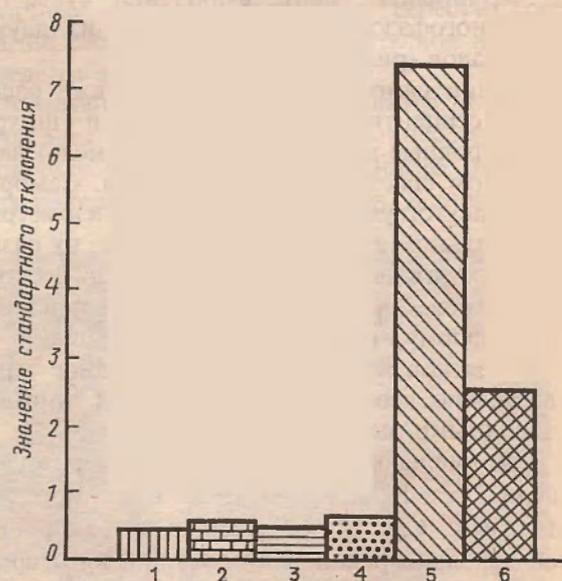


Рис. 5. Стандартные отклонения содержания золота в сульфидах и самородных металлах для выборок из 10 значений: 1 — пентландит; 2 — миллерит; 3 — хизлевудит; 4 — сульфиды меди; 5 — самородная медь; 6 — цинкистая медь

дения сульфидоносных горизонтов в дунитах с содержанием сульфидов до 1%, их концентрации в породах малы, но поскольку сами сульфиды могут быть извлечены из руд и пород различными способами [1], то принципиально извлекаемыми являются и заключенные в них благородные металлы. Это повышает в перспективе ценность хромитовых руд и

пород месторождения. При разработке технологии извлечения сульфидов, самородных металлов из рудовмещающих дунитов и серпентиновой матрицы хромитовых руд особое внимание, видимо, следует уделить пентландиту и самородной меди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонин В.В., Бойцов В.Е., Григорьев В.М. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых. М., 1999.
2. Войткевич Г.В., Мирошников А.С., Поваренных А.С., Прохоров В.Г. Краткий справочник по геохимии. М., 1970.
3. Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. СПб., 1992.
4. Макеев А.Б., Перевозчиков Б.В., Афанасьев А.К. Хромитоносность Полярного Урала. Сыктывкар, 1985.
5. Макеев А.Б., Щербакова А.В., Мельников Ф.П. Минералы меди в рудах и рудовмещающих дунитах хромито-

вого месторождения Центральное (Райизский массив, Полярный Урал) // Мат-лы XIII Геологического съезда республики Коми "Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-Востока России. Новые результаты и новые перспективы". Сыктывкар, 1999. С. 67–70.

6. Новгородова М.И. Кристаллохимия самородных металлов и природных интерметаллических соединений // Итоги науки и техники. Сер. Кристаллохимия. Т. 29. М., 1994.

Поступила в редакцию
26.10.99

УДК 556.3 (597.7)

Нгуен Хьюн Туан

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВПАДИНЫ РЕКИ КРАСНОЙ (СРВ)

При оценке эксплуатационных запасов подземных вод на территориях, прилегающих к морским акваториям, большое значение имеет изучение качества воды. К таким территориям относится впадина р. Красной, где проведено изучение химического состава подземных вод из двух водоносных горизонтов, использующихся в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория представляет собой межгорную впадину [1]. Объект изучения — водоносные горизонты терригенных пород четвертичного возраста, содержащие грунтовые (голоценовый водоносный горизонт) и межпластовые (плейстоценовый водоносный горизонт) воды. Эти водоносные горизонты разделены слабопроницаемым слоем морских отложений верхнего плейстоцена, мощность которого в пределах изучаемой площади варьирует от 5 до 20 м, он сложен глинами и суглинками с коэффициентом фильтрации в пределах $(1,5 \div 2,1) \cdot 10^{-3}$ м/сут. В долине р. Красной разделяющий слой местами размывает и рассматриваемые водоносные горизонты имеют интенсивную гидравлическую связь по гидрогеологическим окнам. Подземные воды изучаемых водоносных горизонтов двигаются с северо-запада на юго-восток и разгружаются в р. Красную и ее притоки и далее в морской залив Бакбо. Основной источник питания изучаемых подземных вод — атмосферные осадки, поэтому формирование минерализации и

химического состава подземных вод начинается с состава инфильтрующихся атмосферных осадков.

Как показали специальные исследования [4], атмосферные осадки в пределах впадины р. Красной имеют ультрапресную минерализацию (от 0,07 до 0,16 г/дм³) и характеризуются гидрокарбонатно-хлоридным ($\text{HCO}_3 > \text{Cl}$) натриево-магниевым ($\text{Na} > \text{Mg}$) составом (здесь и далее наименование воды проводится по преобладающим ионам с концентрациями > 20 мг-экв.%). Общая минерализация атмосферных осадков здесь изменяется в пространстве и времени, ее величина возрастает в направлении с северо-запада на юго-восток (от суши к морю), при этом увеличивается содержание основных ионов HCO_3 , Cl^- , Na^+ . В начале дождливого сезона атмосферные осадки характеризуются несколько большей общей минерализацией, чем в его конце, за счет запыленности воздуха в это время. В прибрежных областях увеличение минерализации осадков происходит за счет переноса морской воды, испаряющейся под воздействием солнечной радиации. Далее изменение минерализации и химического состава подземных вод голоценовых и плейстоценовых отложений идет при движении грунтовых и межпластовых вод от областей питания к областям разгрузки, которыми являются поверхностные водотоки и водоемы — реки, озера и море.

На исследуемой территории имеется густая сеть рек и озер. Основное направление поверхностного