

высокомолекулярных органических кислот» в рамках которого проведены гидрогеохимические исследования на 10 озерах Ононской группы.

### Литература

1. Балашов А.Ю. (1976) Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 267 с.
2. Букаты М.Б. (2002) Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач. Известия ТПУ 305 (6), 348–365.
3. Дубинин А.В. (2004) Геохимия редкоземельных элементов в океане. Литология и полезные ископаемые (4), 339-358.
4. Маракушев А.А., Гаврилов Н.М., Маракушев С.А. (2004) Термодинамика и биогеохимия лантанидов и актинидов. ДАН 397 (5), 664-669.
5. Минеральные воды южной части Восточной Сибири. (1961) Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение. Под. ред. Ткачук В.Г. и Толстихина Н.И. М.– Л.: Изд-во АН СССР 1, 338 с.
6. Чиркс Д.Э., Лобачева О.Л., Берлинский И.В. (2010) Энергия Гиббса образования гидроксидов лантаноидов и иттрия. Журнал физической химии, 84 (12), 2241-2244.
7. Шварцев С.Л., Колпакова М.Н., Исупов В.П., Владимиров А.Г., Ариунбилэг С. (2014) Геохимия и формирование состава соленых озер Западной Монголии. Геохимия. (5), 432-449.

## ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРСТОВОГО ИСТОЧНИКА СЕРЕБРЯНЫЙ КЛЮЧ (ХРЕБЕТ ЛОЗОВЫЙ)

И.В. Брагин<sup>1</sup>, К.Ю. Бушкарева<sup>1</sup>, И.С. Иванова<sup>2,3</sup>, Г.А. Челноков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, E-mail:bragin\_ivan@mail.ru

<sup>2</sup>Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия, E-mail:IvanovaIS\_1986@mail.ru

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

**Аннотация.** Изучены геологические и гидрогеологические условия хребта Лозовый (южное Приморье), в пределах которого широко распространены карстовые явления. Исследованы водовмещающие породы карстового источника Серебряный ключ, расположенного у подножья пещеры Медвежий клык. Установлено, что карстующиеся породы представлены кальцитом CaCO<sub>3</sub>, а аксессуарным минералом является барит BaSO<sub>4</sub>. Установлено, что среди микроэлементов, входящих в состав карбонатных водовмещающих пород, наиболее высокие содержания характерны для Sr, Ba, Cu и Ni. Также изучен химический состав вод источника Серебряный ключ, которые являются пресным, гидрокарбонатными кальциевыми и слабощелочными.

**Abstract.** Geological and hydrogeological conditions of The Lozoviy ridge (South Primorye), within which the karst phenomena are widespread, was studied. The water-contained rocks of the karst spring The Serebryaniy kluch, which is located at the piedmont of the cave Medvezhiy Klyk, was studied. It was found, that the karst rocks are presented by calcite (CaCO<sub>3</sub>), and an accessory mineral is barite (BaSO<sub>4</sub>). Among the trace elements, which included in a composition of carbonate rocks, the maximal concentration for Sr, Ba, Cu and Ni. Also was studied the chemical composition of water spring The Serebryaniy kluch, which are fresh, hydrocarbonate calcium and weakly alkaline.

В мире чрезвычайно широко распространены карстовые явления. Так, известняковый карст образует целые карстовые районы в Перинях и Карпатах. Альпы характеризуются интенсивно развитым карстом в известняковом окаймлении горноледникового высокогорья. Карст развит в ордовикских и силурийских известняках южного склона Балтийского кристаллического щита, на островах Эланде и Готланде. В Центральной Европе карст развит в палеозойских породах и в мезозойских известняковых толщах. Сюда входят район Краковской Юры, Чешский Карст и др.

[3,4]. Характерно развитие карста на Балканском полуострове: плато Крас (Карст), Словенское плоскогорье, полуостров Истрия, Динарские горы. На Карпатах карст развит главным образом в рифогенных известняках. В Крыму карстовые явления распространены в горной и степной частях. Карст довольно широко распространен в горах Урала, Южной Сибири, местами в Средней и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Так, в Восточно-Приморском карстовом округе закарстованы карбонново-пермские и верхнетриасовые породы, в значительной части рифовые известняки, распространен задернованный и голый карст с каррами, воронками, гротами, пещерами. В Южно-Приморском карстовом округе закарстованы рифовые известняки позднепермского возраста, распространен голый и задернованный карст с каррами, воронками, понорами, карстовыми останцами [3].

Объектами исследований являются водовмещающие породы и карстовые воды хребта Лозовый. В статье использованы материалы, полученные авторами в результате полевых исследований, проведенных в августе 2015 г, а также опубликованные материалы других авторов [1, 6]. При проведении полевых работ в каждой точке гидрогеохимического опробования *in situ* определились параметры быстроизменяющихся компонентов, таких как температура, Eh, pH, электропроводность, содержание гидрокарбонат-иона. Стационарно образцы пород и пробы воды исследовались в Лаборатории аналитической химии Аналитического центра ДВГИ ДВО РАН.



Рис. 1. Обзорная схема исследуемой территории

Хребет Лозовый представляет собой останцевый массив протяженностью около семи километров, сложенный рифогенными известняками. Располагается массив между реками Партизанская и Новорудная, севернее г. Находка и окаймлен невысокими сильно разрушенными денудационными водораздельными горами. На гидрологию местности, кроме особенностей геологического строения территории, сильно влияет доминирующая роль р. Партизанская. Склоны массива, направленные к Партизанской

долине имеют более пологий вид, по сравнению с крутыми, обрывающимися почти вертикально, противоположными склонами хребта. Исследуемый район относится к Партизанскому карстовому району (рис. 1).

Карст на массиве в южной части преимущественно голый, а в северной полузадернованный. Поверхностные формы карста представлены каррами, желоб-ками, скальными останцами, нишами и гротами, воронками и котловинами. Из подземных форм карста известно несколько десятков пещер, в том числе глубочайшая в Приморском крае – Соляник, а также пещеры Близнац, Дальняя, Сквозная, Малая, Мечта Спелеолога, Медвежий Клык и другие.

Геология хребта Лозовый изучена достаточно подробно. На данной территории широко развиты верхнепермские отложения, которые представлены морскими, прибрежно-морскими и континентальными образованиями.

Сицинская свита (P2sc) сложена терригенными, вулканогенно-осадочными и вулканогенными породами, находящимися в примерно равных соотношениях. Мощность свиты составляет 280 м в северной части зоны, увеличиваясь до 630 м в районе г. Находка.

Чандалазская свита (P2cn) распространена прерывистой полосой и протягивается от п-ова Трудный на северо-восток, до бассейна р. Поворотная. Залегаet на сицинской свите. Свита сложена известняками, горизонтами алевролитов (первые десятки м) и пачками переслаивания конгломератов, песчаников и алевролитов. Состав свиты в целом не меняется по простиранию. Мощность свиты 385–570 м.

Аллювиальные отложения (aQ) слагают аккумулятивную часть высоких террас. Представлены разномелкими песками с редкой мелкой галькой и глинами с прослоями суглинков и супесей. Мощность отложений достигает 50 м.

В гидрогеологическом отношении территория Партизанского карстового района, в том числе и хребта Лозовый, относится к Южному району Сихотэ-Алинской гидрогеологической области. Район характеризуется пониженным горным рельефом, разветвленной речной сетью. Зона активного водообмена мощностью 300–500 м захватывает верхнюю трещиноватую часть разреза: четвертичные образования, верхняя часть разреза кайнозоя межгорных впадин. Подземные воды формируются в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод. Широко развиты глубинные формы карбонатного карста, связанные преимущественно с подзоной подвешенных вод и зонами переменной, горизонтальной и отчасти сифонной циркуляции. Сюда относятся карстовые пещеры, карстовые каналы, полости и каверны. Наиболее водообильны четвертичные отложения. К карбонатным и терригенно-карбонатным отложениям позднего палеозоя приурочены водоносные горизонты и комплексы трещинно-карстово-пластового типа.

Одним из главных условий развития карста является водопроницаемость карстующихся пород, определяемая их пористостью, трещиноватостью и кавернозностью. Авторами были исследованы вмещающие породы и сами воды источника Серебряный ключ, выходящего у подножья карстового массива неподалеку от пещеры Медвежий клык. Пещера Медвежий клык находится на высоте 430 метров над уровнем моря на узком скальном гребне. Породы пещеры разбиты системами трещин разной ширины и направлений. В связи с разрушением горного массива и уничтожением ее водосборного бассейна развитие полости пещеры прекратилось. Дебит источника Серебряный ключ не превышает 50 л/с. Химический состав вод приведен в табл. 1.

**Таблица 1**  
**Химический состав вод карстового родника Серебряный ключ**

Источник	pH	Eh	OM	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
		мВ	мг/л						
Серебряный ключ	8,1	152	243	153,5	11,1	1,9	44,5	7,3	7,7

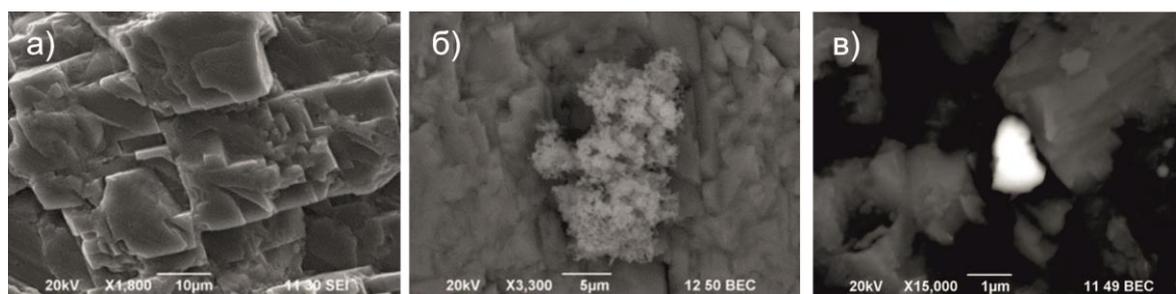
Примечание: OM – общая минерализация

По основным физико-химическим свойствам воды источника являются пресными (минерализация 243 мг/л), гидрокарбонатными кальциевыми, слабощелочными (pH 8,1). Ионы SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup> имеют сугубо подчиненное значение в составе солей.

Определение микроэлементного состава вмещающих горных пород было выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 7500 (аналитик Еловский Е.В.). Главными элементами изученной породы являются  $\text{CaO}$  – 54,9 мас.% и  $\text{SiO}_2$  – 0,92 мас.%. Среди микроэлементов, входящих в состав карбонатных минералов максимальные концентрации характерны для Sr (374 г/т), Cu (15,9 г/т), Ba (18,6 г/т). Содержаниями от 1,0 до 8 г/т характеризуются Cr, Ni, Zr, La, Ce, Nd, Y, Sc, V, As, Pb. Минимальные концентрации имеют Sn, Cs, Tb, Tm, Lu, Hf, Ta.

Среди микроэлементов стоит отметить стронций, концентрация которого максимальна. Он может встречаться в породах любого литологического состава, большей частью входит в состав карбонатных пород в качестве элемента-примеси, либо в виде изоморфных замещений кальция в структуре кристаллических решеток карбонатных минералов (кальцита и доломита). Стронций активно участвует в процессах растворения и выщелачивания, происходящих под воздействием атмосферных и подземных вод. Кроме того, стронций может образовывать самостоятельные минералы – стронцианит ( $\text{SrCO}_3$ ) и целестин ( $\text{SrSO}_4$ ), хотя на исследуемой территории они не были обнаружены [7]. В исследованном под электронным микроскопом образце эти минералы выявлены также не были.

Петрографические исследования горных пород были выполнены в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе JeolJSM 6490LV с приставкой INCAEnergy 350 (аналитик Бушкарева К.Ю.). По результатам анализов образцов пород можно сделать вывод о том, что карстующиеся породы пещеры Медвежий клык представлены кальцитом ( $\text{CaCO}_3$ ) с небольшой долей магния (рис. 2, а). Полученные результаты подтверждаются архивными материалами [2], в которых описано, что основными компонентами пород являются  $\text{CaO}$  (55 мас.%) и  $\text{MgO}$  (0,5 мас. %). В качестве микровключений обнаружены  $\text{FeO}$  (рис. 2, б),  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , также единичные кристаллы пирита ( $\text{FeS}$ ) и Au. Наиболее часто встречающимся аксессуарным минералом является барит ( $\text{BaSO}_4$ ) (рис. 2, в). Встречаются сплавы типа  $\text{CuNi}$  и  $\text{CuZn}$ , имеющие, вероятно, техногенное происхождение.



**Рис. 2. Фотографии образцов карбонатных пород хребта Лозовый, полученные на сканирующем электронном микроскопе JeolJSM 6490LV: а) морфология  $\text{CaCO}_3$ , б) морфология  $\text{FeO}$ , в) микровключения  $\text{BaSO}_4$  в карбонате.**

Анализ полученного материала позволяет говорить о том, что для хребта Лозовый характерен карбонатный класс карста, где карстующимися породами являются известняки Чандалазской свиты. Карбонатные породы содержат в повышенном количестве стронций, барий, никель, минеральные формы которых, за исключением Sr, были определены с помощью электронной микроскопии. Подземные воды, залегающие в терригенно-карбонатных отложениях позднего палеозоя, образуют комплексы трещинно-карстово-пластового типа. Воды являются пресными, гидрокарбонатными

кальциевыми. Полученные геохимические характеристики карстующихся пород источника Серебряный ключ показывают, что по отношению к карбонатным породам агрессивность вод незначительна, и в склоновых условиях происходят в основном их вертикальные нисходящие перетоки.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-35-50435, грант ДВО РАН 15-1-2-097.*

### **Литература**

1. Анохин В. М., Рыбалко В. И., Аленичева А. А., Леликов Е. П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист К- (52), 53. – Владивосток. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 332 с.
2. Берсенев Ю.И. Карст Дальнего Востока. – М.: Наука, 1989. – 172 с.
3. Гвоздецкий Н.А. Карст/ Н.А. Гвоздецкий. – М.: Мысль, 1981. – 214 с.
4. Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика / Н.А. Гвоздецкий. – М.: Мысль, 1972. – 392 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист (L-(52), 53; (K-52), 53) – оз. Ханка. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 684 с.
6. Демин Л.В., Берсенев Ю.И., Татарников В.А. Карст Приморского, Хабаровского краев и Амурской области//Карст Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток, 1980. – С. 5–54.
7. Юдович Я.Э., Майдль Т.В., Иванова Т.И. Геохимия стронция в карбонатных отложениях. – Л.: Наука, 1980. – 152 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЫЩЕННОСТИ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ВТОРИЧНЫМИ МИНЕРАЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА ТАРЫС, ТУВА)**

Н.В. Гусева, Ю.Г. Копылова, А.А. Хващевская

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,  
E-mail: guseva24@yandex.ru*

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности химического состава вод родников природного комплекса Тарыс. Выделены три типа подземных вод: грунтовые воды зоны региональной трещиноватости карбонатно-терригенных отложений рифея (5 выходов); трещинно-жильные воды окислительно-восстановительной обстановки таннуольского плагиогранитового комплекса с местной областью питания (5 выходов); трещинно-жильные воды восстановительной обстановки таннуольского плагиогранитового комплекса с отдаленной областью питания (10 выходов). Оценена насыщенность вод вторичными минералами.

**Abstract.** In the article the peculiarities of the spring chemical composition in the natural spa area «Taris» has been considered. The trace element behavior, gas composition and radioactivity are presented. The following types of groundwater were identified: the groundwater in regional fracturing zone of Riphean carbonate-terrigenous rocks of the (5 springs); fracture-vein waters with oxidizing-reducing conditions confined tanuolsk plagiogranite complex with the local recharge area (5 springs); fracture-vein waters with reducing conditions confined tanuolsk plagiogranite complex with the far recharge area (10 springs). The water saturation with respect to secondary minerals has been evaluated.

Природный комплекс «Тарыс» располагается в отрогах Прихубсугульского нагорья в устьевой части руч. Аржаанец, притока р. Барахоля у выхода ее в Тарысскую котловину. Эти источник с давних времен являются местом паломничества местного населения, которое здесь осуществляет стихийное лечение.