

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 3, Number 423 (2017), 185 – 197

UDC 551.23

E. Sh. Zhexembayev¹, E. Zh. Murtazin¹, I. V. Tokarev², A. T. Khabiyev³

¹Institute of Hydrogeology and Geocology of the Ministry of Education and Science
of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan,

²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia,

³Kazakh National Technical Research University named after K. I. Satpaev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: erkebulan.adai@mail.ru; tokarevigor@gmail.com

HYDROGEOCHEMICAL FEATURES OF NITROGEN THERMS OF ALAKOL BASIN (EAST KAZAKHSTAN)

Abstract. The article is devoted to the investigation of nitrogen terms located within the Alakol basin. There are two parts of the manifestation of thermo-mineral waters - Barlyk-arasan and Aynabulak sources. Laboratory investigations of the chemical, gas and isotopic composition of nitrogen nitrogen data were carried out. The chemical composition of mineral sources is analyzed and the amounts of dissolved salts are determined. Special attention is given to the genesis of hydrotherms, the geologic and geomorphologic conditions of their recharge. It is established, that most of the chemical elements taken from the rocks. Thus, the so-called redundant elements appear, which were earlier considered to be of mantle origin. The isotopic composition of the water term generally indicates their meteoric origin. Infiltration oxygen-nitrogen waters, penetrating through the cracks to a depth of the order of up to 2-3 km, are gradually heated and begin to interact actively with the enclosing crystalline rocks.

Keywords: Alakol basin, nitric thermal waters, the formation of chemical composition, hydrogen and oxygen isotope compositions of water.

Introduction. Nitrogen terms, as well as in general thermal waters of areas with tectonic activation, attract the attention of many scientists around the world. Actual problems are formation of the resources and chemical composition [1, 2, 6, 13], microcomponental [17] and isotopic [9] compositions, hydrogeological conditions of their manifestation [4, 16], circulation depths [12, 20], mechanisms of hydrotherms associated with mineralization [11, 14], the scale of their interaction with water-bearing rocks and the character of the thermodynamic equilibrium [2, 11, 18], formation of the gas composition [10], the genesis of secondary minerals, hydrogeological model of their formation [19] and many other problems.

Nitrogen terms are thermo-mineral waters, in with gas phase nitrogen predominates. Spatially, the nitrogen terms are close to the areas of Alpine folding and the adjacent areas of platforms, renewed in the modern era of orogenesis, in which limits there are anomaly high heat flux density of the earth crust.

The Alakol basin, in which nitrogen terms appear, - geologically associated with the eponymous intermountain depression, bounded in the north with ridge of Tarbagatay, in the southwest with Zhetysu Alatau and in the south-east with ridge Birlik and Mayli. Area of depression is approximately 20 km². On the surface of the basement Alakol basin is an extensive asymmetrical depression (Figure 1).

Modern tectonic structures of Balhash-Alakol area and adjacent territory of China are the result of a very active manifestation of Alpine orogenesis era (pliocene-anthropogenic) of folding.

A characteristic feature of it may be considered, first of all, activation of explosive infringements of the Paleozoic substrate with a sharp predominance of vertical movements in substrate and in the coating Meso-Cenozoic cover. The significant southern part of the Alakol Meso-Cenozoic depression experienced uplifting and conversion to a solid system of grabens and horsts.

Tectonic structure of the Alakol basin was characterized on the basis of maps on the surface of the Paleozoic, generated by seismic data. The structure of the basin is asymmetric. Southwestern board is

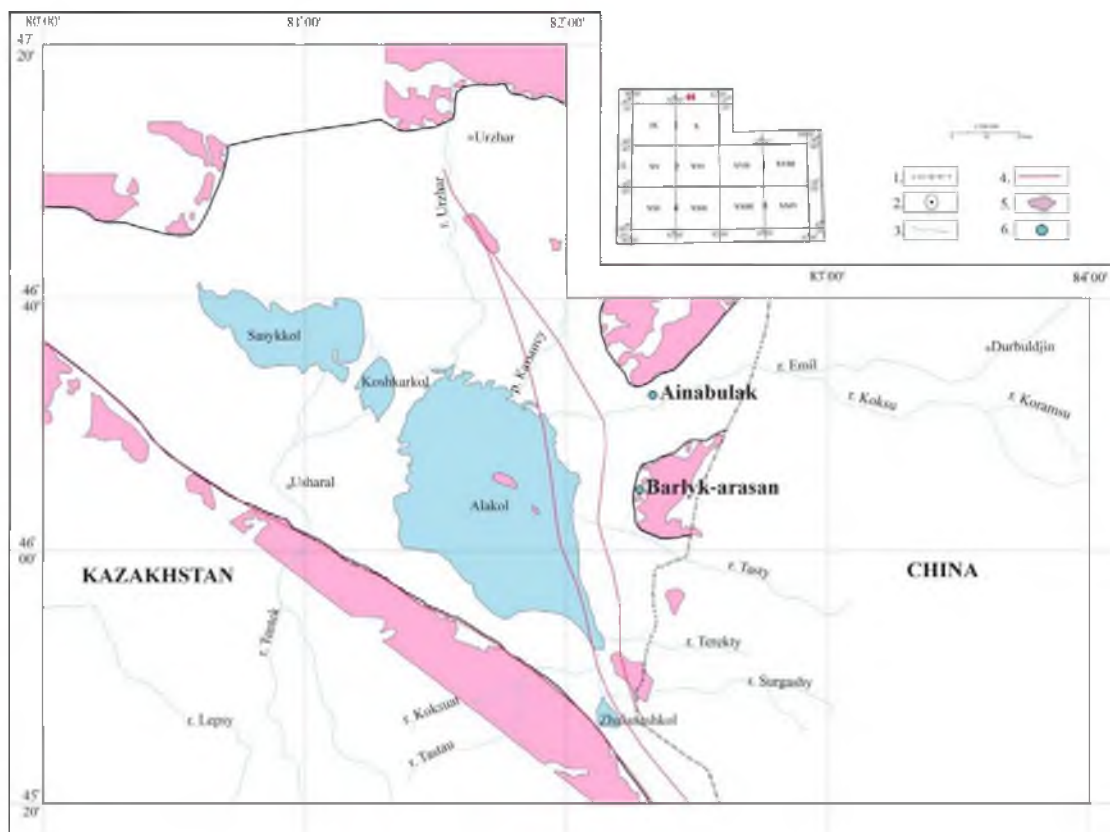


Figure 1 – The overview map of Alakol basin: 1 – state boundary; 2 – cities; 3 – rivers and lakes; 4 – tectonic faults; 5 – outputs of basement on the surface; 6 – deposits of mineral waters

steep and limited with Zhetysu fault. Northeast board is flatter. On the center lines of Alakol and Sasykkol lakes are located shaft shaped ledge of the surface of the Paleozoic, that divides the basin into two parts – not deep sloping northeast and deep south-west. In the open fractures were formed convective hydrothermal cells, that led to an intense heating of the rocks in their ascending branches.

In Alakol basin on the gas composition nitrogen terms exists. Nitrogen terms are located generally in the eastern of Alakol basin. There are two known areas of manifestation of mineral and thermal waters: Barlyk-arasan and Aynabulak sources.

Chemical and gas composition and temperature of nitrogen terms. First of all, attracts attention exceptionally low total salinity of terms, that exceeds 2.7 g / dm^3 in Aynabulak sources, а в Barlyk-arasan is less than 1.7 g / dm^3 (Table 1). This low mineralization of nitrogen thermal waters may be associated with the fact, that their resources are formed in the range of hydrogeological arrays in the field of distribution of the intrusive rocks. Alpine landscape in the field of feeding are favorable for the spread of ultrafresh waters, and the movement in the transit area takes place in the zones of fracturing in rocks, which are resistant to weathering [2, 9].

Another feature of the studied water is an unusual ratio of cations, among which is sharply dominated Na. The content of Ca, Mg and K, as a rule, is low. Low concentrations of Ca and Mg in terms are associated with deposition of carbonates and possibly secondary silicates of a laumontite type [9].

It is quite logical, that the total mineralization of the term depends on their temperature: with increasing of temperature the amount of salt must be increased (Table 1). For sodium sulfate terms this relationship is ambiguous, since sharply diverge from the general trend of water of thermoexhibitings of Barlyk-arasan and Aynabulak. For sulphate sodium type of water regularities in the change of content of carbonate and sulfate anions under the influence of temperature is not established. In Alakol terms nitrogen is the main gas, therefore they are called nitrogen (Table 2).

Second place by volume of in the gas the composition takes oxygen. However, it should be kept in mind, that testing of the term was carried out in places of their discharge, and at the approach to a

Table 1 – Chemical composition of groundwater of Barlyk-Arasan and Aynabulak sources of Alakol basin (2015)

Ions	Barlyk-arasan mineral sources			Aynabulak mineral source
	well №1	well “a”	well “b”	
	mg/dm ³			
HCO ₃	–	–	–	6.1
Cl	319.1	287.2	304.9	719.8
SO ₄	759.1	748.3	742.5	1009.2
SiO ₂	37.6	37.6	36.4	37.6
Sr	3.45		3.28	4.08
Mo	0.07		0.04	0.03
Ca	133.1	149.3	127.1	170.2
Mg	12	3.6	1.2	1.2
K	7.9	7	7.7	19.2
Na	420	400	420	750
Mn	0.01		0.01	0.098
F	5.52	5.09	5.3	5.74
Br	0.31		0.31	0.78
B	0.82		0.85	3.76
The dry residue	1694	1660	1660	2660
Temperature	44	21	29	23
pH	8,03	7.2	7.52	8.24

Table 2 – Gas content of nitrogen terms of Barlyk-Arasan and Aynabulak sources of Alakol basin [3, 7]

Date of sampling	Mineral source	laboratory	Gas composition, vol. %					
			Overall analysis				Analysis of rare gases	
			O ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂ +ред	Ar+Kr+Xe	He+Ne
1933	Barlyk-arasan	CNIGRI	2	0,9		97,1	1,545	Heightened
1940		Geliogaszvedka	0,7	–		99,3	1,126	
1931	Aynabulak	CNIGRI	–		–	100	1,06	Heightened
1940		Geliogaszvedka	0,1		0,3	99,6	1,096	

terrestrial surface in which the air can get into. We believe, that at great depths nitrogen terms do not contain free oxygen, but in the transit areas oxygen in hydrothermal systems may be provided with fresh portions of water. Third place among the dissolved gases in these terms takes carbon dioxide, then argon, helium, neon. In some sources methane, hydrogen sulfide, hydrogen occurs. In places of discharge of terms gases sometimes release in the free form.

The overwhelming majority of researchers believe that the gases of nitrogen terms, as well as the water itself, have atmospheric origin. With the penetration of atmospheric precipitation with dissolved gases in the depths of the earth in zones tectonic faults oxygen is expended on the oxidation of organic matter generally of soil and mountain rocks to form carbon dioxide of biochemical genesis. Also, along with entrapped oxygen from the atmosphere is also is expended on the hydrolysis reaction of aluminosilicates in all the way from the movement of water feeding to the exit areas of thermal water on the surface. In discharge places, as already noted, again in the water may appear free oxygen. Nitrogen and other inert gases in large scale in reactions are not involved and therefore not only remain in the water in all the way of its movement, but their relative fraction increases, since the content of O₂ and CO₂ decrease. The relative volume of inert gases increases and for another reason due to a decrease of the volume of water in the system, since the water, as CO₂, is involved in the hydrolysis reactions of aluminosilicates

[19]. Gas composition of thermal waters of Alakol basin is not experiencing severe exposure, emanations from the mantle, and it is formed mainly due to the transformation of the components of air. This is evidenced by the ratio of argon to nitrogen.

Isotopic composition of water. The isotopic composition of H and O water is a reliable criterion for establishing its genesis. Therefore, the isotopic composition of H, O of Barlyk-aran and Aynabulak springs of fracture-veins waters discharged into the Alakol basin was investigated. The analysis of the isotope composition (deuterium and oxygen-18 contents) of water samples was carried out in the Resource Center "Geomodel" of the Science Park of the St. Petersburg University on a laser infrared spectrometer Picarro L-2120i. As reference standards was used V-SMOW2, GISP and SLAP (IAEA), USGS-45 and USGS-46 (US Geological Agency). The measurement error was ± 0.1 ‰ for $\delta^{18}\text{O}$ and ± 1 ‰ for $\delta^2\text{H}$.

The obtained data (Table 3) shows that the isotopic composition of the water term generally indicates their meteoric origin, since the majority of points pass along the Global Meteoric Water Line.

Table 3 – Isotopic composition of hydrogen and oxygen of water of nitrogen term of Alakol basin, ‰

Name of the sample	Laboratory №	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ SMOW	$\delta^2\text{H}$, ‰ SMOW
№1 (Barlyk-aran)	P-22772	-17,6	-132,1
№2 (Aynabulak)	P-22773	-18,1	-138,1

Thermomineral waters in both tested areas have the initial feeding by atmospheric precipitation. This circumstance is indicated by the complete correspondence of the tested sources to atmospheric precipitation in the proposed feeding areas (Figure 2).

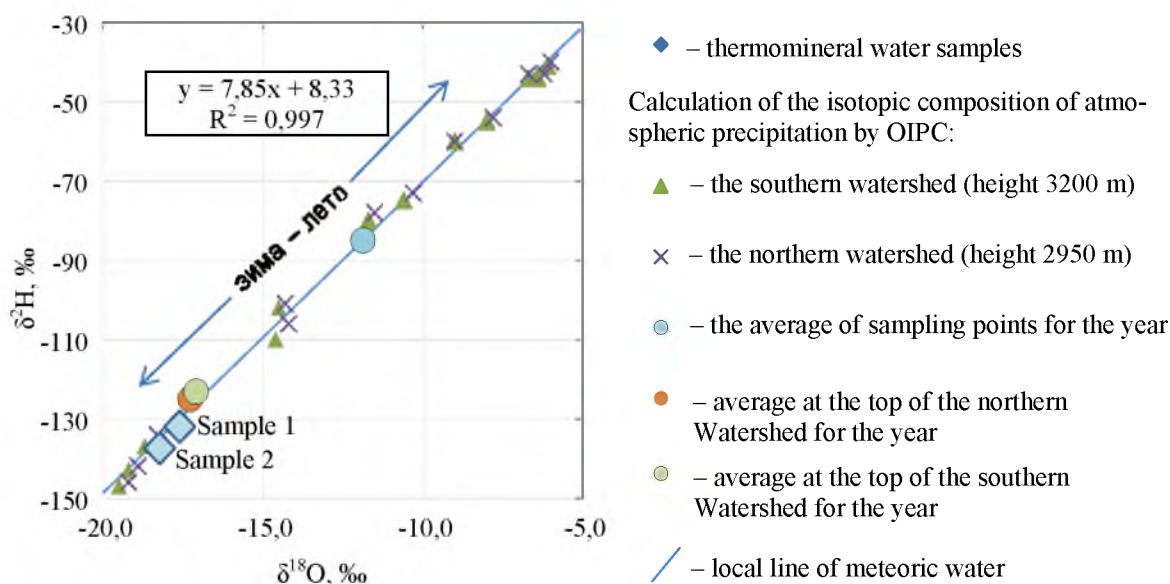


Figure 2 – Position of nitrogen terms in the diagram $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$

Despite the elevated temperature, no significant interaction with the host rocks was observed during the water movement, since there are no isotopic shifts that are characteristic for the interaction of water with carbonate and silicate minerals at elevated temperatures. It is possible that the heating of water occurs already at the final sections of the filtration path that are directly near the unloading sites. Actually the mechanism of unloading can be caused by the appearance of decompression of water during heating.

Most likely, interaction in the water-rock system was limited by the dissolution of evaporites. In addition to the general mineralization, this is also indicated by a significantly increased Cl / Br ratio, a low content of hydrocarbons and an increased concentration of sulfates. Saline deposits, at least in the case of the Aynabulak mineral spring, are, most likely, lake sediments. The source of evaporite formation was a drying ephemeral lake, filled with water during periods of climatic cooling and drying out during warming periods accompanied by climate aridization.

It should be noted that the isotopic composition of water of thermomineral sources is much easier than the average annual isotopic composition of the precipitation at sampling sites. Therefore local precipitation cannot be a source of thermomineral water resources.

The probable area of supply for thermomineral waters for the Ainabulak mineral spring is the Tarbagatay ridge located at the north of the Alakol basin with elevation marks of the watersheds till 2950 m and for the Barlyk-Arasan thermomineral springs group - Zhetysu Alatau mountains located at the south of the Alakol basin with elevations marks of watersheds up to 3200 m.

Formation of nitrogen terms of Alakol basin. The outputs of nitrogen terms of Alakol basin confined to zones of major tectonic faults, elongated in the latitudinal and sub-latitudinal direction and characterized by straightforwardness strike and steep a fall of diverter surfaces. The length of the fault reaches up to 100-500 km and are accompanied by a powerful crushing zones, quartzification and ironation.

Infiltration oxygen-nitrogen waters penetrating the available numerous cracks on the order of 2-3 km depth to gradually heat up and begin to actively interact with enclosing crystalline rocks. As part of the latest a variety of components (Table 4) contains, that, obviously, in the interaction and presence of favorable conditions can be transformed into soluble condition and transported by groundwater.

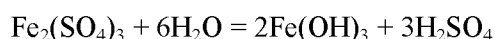
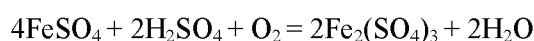
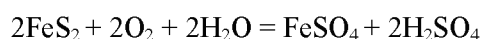
Table 4 – The average content of chemical elements in magmatic rocks with acid composition [3]

Element	mg/kg	Element	mg/kg	Element	mg/kg
K	33400	Co	5	Zr	200
Na	27700	Ti	2300	Sn	45
Mg	5600	W	40	As	1,5
Ca	15800	C	25	Za	46
C	240	Zn	60	Ge	3
F	800	Mo	1,9	Ga	30
S	400	Cu	20	Jn	0,12
Si	323000	Be	5,5	Sr	300
Al	77000	Pb	2323	Ba	830
Fe	27000	Sb	0,4	B	15
Mn	600	Ag	0,15	Ni	8

Oxygen-nitrogen composition of dissolved gases as they move from groundwater areas of feeding to the of discharge zones changes to nitrogen, since oxygen is consumed during various oxidation processes. As a result of leaching of enclosing crystalline rocks with hot infiltration water they accumulate various elements and compounds. From the Table it is shown, that finally in the terms there is an accumulation of ions SO_4^{2-} (until 1009,2 mg/dm³), Cl^- (until 319-719), F^- (until 5,74), Na+K (until 428-769), Ca (until 127-170) Mg (until 1,2-3,6), H_2SiO_3 (until 37,6 mg/dm³).

The content of ions HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} in nitrogen terms is very close to their content in the district with fractured groundwater, which are the main sources of feeding nitrogen terms along with atmospheric precipitations.

The accumulation of sulphate ions in nitrogen terms is associated by the majority of researchers with oxidation processes of different sulfide minerals, containing in igneous rocks. This position is admitted by researchers, that allow participation of juvenile waters in the formation of nitrogen term. However, they point out the possibility of formation of sulfates "by ancient magma chambers exhalations". Oxidation of sulfides with oxygen-nitrogen groundwater leads to the formation of sulfates of iron, copper and other metals, as well as free sulfuric acid. There are reactions of iron sulfide oxidation leading to the formation of ferrous sulfate, ferric sulfate and ferric hydroxide sequentially in the presence of free oxygen and low acidity of the solution. This reactions are shown below:



Iron sulfate $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ has a very strong oxidizing and dissolving effect on the sulfides and plays an important role in the processing of sulfide minerals in the oxidation zone. Iron hydroxide $\text{Fe}(\text{OH})_3$ easily coagulated and precipitates. Sulfates of other metals (Pb, Cu) are gradually oxidized with nitrogen-oxygen waters and form different water insoluble compounds. After metal deposition released free sulfuric acid reacts with enclosing crystalline rocks and leaches from them SiO_2 , Al, Na, K, F, and other components. The formed aluminum sulfate is easily hydrolyzed and precipitate as a gel $\text{Al}(\text{OH})_3$. Thus, generally the accumulation of SO_4 , Na, F and H_2SiO_2 in nitrogen terms of Alakol basin occurs, which are the main macro components of composition of nitrogen term.

Conclusions. In the eastern part of Alakol basin favorable geological conditions for the discharge of thermal waters to the surface were formed. This is mainly due to the wide spread of fault-type explosive infringements. In hydrothermal systems with short transit zone are formed thermal waters generally of chloride-sulphate-sodium-calcium type.

The main factors in the formation of the chemical composition of the terms of Alakol basin are intensity of water exchange, subsurface temperature and geochemical characteristics of rocks that drained with terms. These factors affect the geochemical appearance.

Given in the work actual data clearly show, that hydrotherms are the result of interaction of ancient water infiltration from the enclosing mountain rocks and large-scale redistribution of chemical elements between aqueous solutions and forming in these conditions the secondary mineral formations. Penetrating into the deep layers of the Earth (2-5 km) favorable for it geomorphological and structural-tectonic conditions of atmospheric precipitation in power of equilibrium-nonequilibrium state of the system water - rock continuously dissolved the host rocks and selectively concentrated chemical elements in solution.

Most of the chemical elements in the terms taken from the aluminosilicate minerals as a result of hydrolysis reactions. Due to this under low partial pressures of CO_2 growth of investigated pH-terms occurs.

REFERENCES

- [1] Barabanov L.N., Disler V.N. Nitrogen terms of USSR. M.: Geominvod, 1968. 120 p.
- [2] Zamana L.B. Calcium mineral equilibriums of nitrogen terms of Baykal rift zone // *Geochemistry*. – 2000. – N 11. – P. 1159-1164.
- [3] Isabaev T.T. Groundwater of Alakol basin and conditions of their formation. – Almaty, 1968. – 214 p.
- [4] Kiryuhin A.B., Kiryuhin V.A., Manuhin Yu.F. Hydrogeology of volcanogens. – SPb.: Science, 2010. – 395 p.
- [5] Kurmangalieva A.R. Hydrogeochemical regime of nitrogen alkali terms of Almaty seismic areas. – Almaty, 1993. – 201 p.
- [6] Lomonosov I.S. Geochemistry and formation of modern fluids of the Baykal Rift Zone. – Novosibirsk: Science, 1974. – 168 p.
- [7] Muhamedzhanov S.M., Isabaev T.T., др. Groundwater Tarbagatay ridge and its lowland foothills. – Almaty, 1965. – 146 p.
- [8] Deposits of groundwater in Kazakhstan. Ch 3: Mineral spa and thermal groundwater: Handbook. – Almaty, 1999.
- [9] Plyusnin A.M., Zamana L.V, etc. Hydrogeochemical characteristics of composition of nitrogen terms of Baykal rift zone // *Geology and geophysik*. 2013. Ch. 54, N 5. P. 647-664.
- [10] Taran Yu.A. Geochemistry of geothermal gases. M.: Science, 1988. 167 p.
- [11] Shvarcev S.L. About some questions of the evolution of volume and composition of ground water infiltration in aluminosilicate rocks // *Geochemistry*. 1975. N 6. P. 905-917.
- [12] Chiocchini U., Castaldi F., Barbieri M., Eulilli V. A stratigraphic and geophysical approach to studying the deep-circulating groundwater and thermal spring, and their recharge areas, in Cimino Mountains-Viterbo areas, central Italy // *Hydrol. J.*, 2010. Vol. 18, N 6. P. 1319-1342.
- [13] Gallois R. The formation of the hot springs at Bath Spa, UK // *Geol. Mag.* 2007. Vol. 144, N 4. P. 741-747.
- [14] Gemici U., Filiz S. Hydrochemistry of the Cesme geothermal area in western Turkey // *J. Volcanol. Geother. Res.* 2001. Vol. 110. P. 171-187.
- [15] Grasby S.E., Hutcheon I., Krouse H.R. The influence of water-rock interaction on the chemistry of thermal springs in Western Canada // *Appl. Geochem.* 2000. Vol. 15, N 4. P. 439-454.
- [16] Helvachi C. Hydrogeochemical and hydrogeological integration of thermal waters in the Emet area (Kutahya, Turkey) // *Appl. Geochem.* 2004. N 1. P. 105-118.
- [17] Michard G. Behavior of major elements and some trace elements (Li, Rb, Cs, Sr, Fe, Mn, W, F) in deep hot water from granitic areas // *Chem. Geol.* 1990. Vol. 89. P. 117-134.
- [18] Minissale A., Magro G., Tassi F., Verrucchi C. Origin and circulation patterns of deep and shallow hydrothermal fluids in the Mt. Amiata geothermal region (central Italy) // *Proc. 8th Int. Symp. Water-Rock Inter.*
- [19] Person M., Banerjee A., Hofstra A., Sweetkind D., Gao Y. Hydrologic models of modern and fossil geothermal systems in the Great Basin: genetic implications for epithermal Au-Ag and Carlin-type gold deposits // *Geosphere*. 2008. Vol. 4, N 5. P. 888-917.
- [20] Yum B.W. Movement and hydrogeochemistry of thermal waters in granite at Gosuns, Republic of Korea // *Proc. 8th Int. Symp. Water-Rock Inter.* Rotterdam, Balkema, 1995. P. 401-404.

Е. Ш. Жексембаев¹, Е. Ж. Муртазин¹, И. В. Токарев², А. Т. Кабиев³

¹Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина МОН РК, Алматы, Казахстан,

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,

³Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЗОТНЫХ ТЕРМ АЛАКОЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

Аннотация. Статья посвящена исследованию азотных терм, расположенных в пределах Алакольской впадины. Здесь известны два участка проявления термо-минеральных вод – Барлык-арасанские и Айнабулакские источники. Проведены лабораторные исследования химического, газового и изотопного состава данных азотных терм. Проанализирован химический состав минеральных источников и определены источники растворенных солей. Особое внимание уделено генезису терм, геологическим и геоморфологическим условиям их питания. Установлено, что большая часть химических элементов заимствована из горных пород. Тем самым в термах появляются так называемые избыточные элементы, источники которых ранее считали мантийными. Изотопный состав воды терм в целом указывает на их метеорное происхождение. Инфильтрационные кислородно-азотные воды, проникая по трещинами на глубину порядка до 2-3 км постепенно нагреваются и начинают активно взаимодействовать с вмещающими кристаллическими породами.

Ключевые слова: Алакольская впадина, азотные термы, формирование химического состава, изотопный состав водорода и кислорода.

Введение. Азотные термы, как и в целом термальные воды областей тектонической активизации, привлекают внимание многих ученых всего мира. Актуальными проблемами являются: формирование ресурсов и химического состава [1, 2, 6, 13], микрокомпонентный [17] и изотопный [9] составы, гидрогеологические условия их проявления [4, 16], глубины циркуляции [12, 20], механизмы связанного с гидротермами рудообразования [11, 14], масштабы взаимодействия их с водовмещающими породами и характер термодинамического равновесия [2, 11, 18], формирование газового состава [10], генезис вторичных минералов, гидрогеологическая модель их формирования [19] и многие другие проблемы.

Азотными термами называют термоминеральные воды, в газовой фазе которых доминирует азот. В пространственном отношении азотные термы тяготеют к областям альпийской складчатости и прилегающим платформенным территориям, обновленным в современную эпоху орогенеза, в пределах которых наблюдаются аномально высокие плотности теплового потока земной коры.

Алакольская впадина, в которой проявляются азотные термы, - в геологическом отношении связана с одноименной межгорной впадиной, ограниченной с севера хр. Тарбагатай, с юго-запада Жетысуским Алатау, с юго-востока хр. Бирлик и Майлы. Площадь впадины составляет порядка 20 тыс. км². По поверхности фундамента Алакольская впадина представляет обширную асимметричную депрессию (рисунок 1).

Современные тектонические структуры Балхаш-Алакольского региона и смежной территории КНР являются следствием весьма активно проявленного орогенеза альпийской эпохи (плиоцен-антропоген) складчатости. Характерной особенностью его можно считать, прежде всего, активизацию разрывных нарушений палеозойского субстрата с резким доминированием вертикальных движений, как в самом субстрате, так и в покровном мезо-кайнозойском чехле. Значительная южная часть Алакольской мезо-кайнозойской депрессии испытала воздымание и превращение в сплошную систему грабенов и горстов.

Тектоническое строение Алакольской впадины охарактеризовано на основании карты по поверхности палеозоя, составленной по сейсмическим данным. Строение бассейна асимметричное. Юго-западный борт крутой и ограничен Жетысуским разломом. Северо-восточный борт более пологий. По осевым линиям оз. Алаколь и Сасыкколь расположен валообразный выступ поверхности палеозоя, который делит бассейн на две части – неглубокая пологую северо-восточную и глубокую юго-западную. В открытых разломах сформировались конвективные гидротермальные ячейки, что привело к интенсивному прогреву пород в их восходящих ветвях.

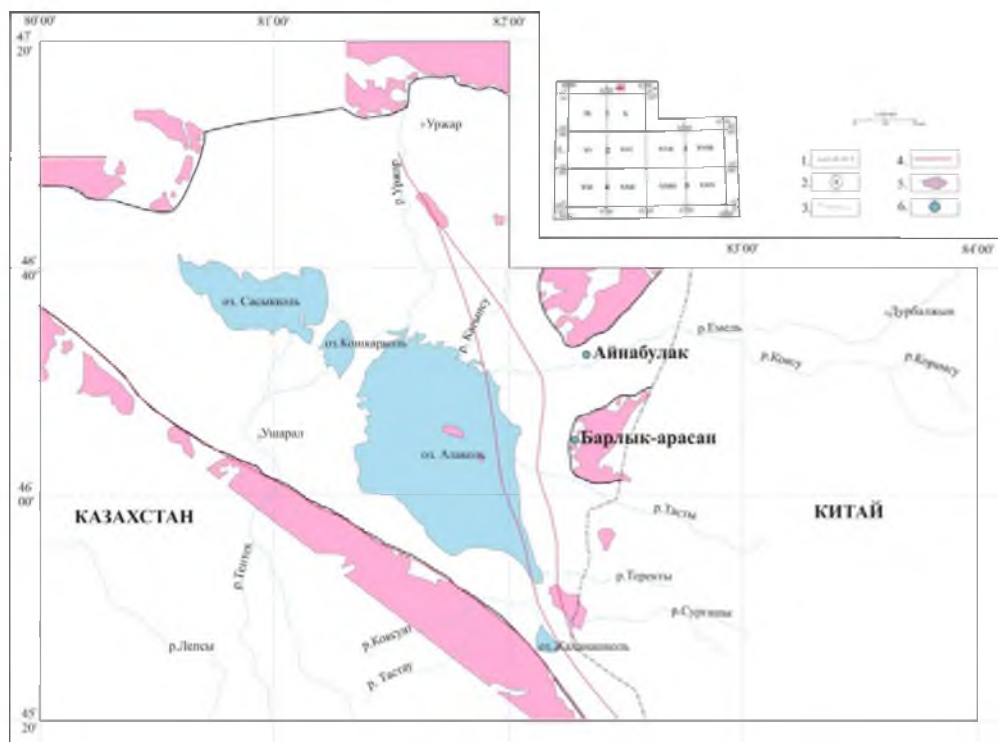


Рисунок 1 – Обзорная карта Алакольской впадины: 1 – государственная граница; 2 – города; 3 – реки и озёра; 4 – тектонические разломы; 5 – выходы фундамента на поверхность; 6 – месторождения минеральных вод

В пределах Алакольской впадины по газовому составу выделяется азотные термы. Азотные термы располагаются в основном в восточной части Алакольской впадины. Там известны два участка проявления термо-минеральных вод. Это Барлык-арасанские и Айнабулакские источники.

Химический, газовый состав и температура азотных терм. Прежде всего, обращает на себя внимание исключительно низкая общая минерализация терм, которая превышает $2,7 \text{ г/дм}^3$ в Айнабулакском источнике, а в Барлык-арасанском составляет менее $1,7 \text{ г/дм}^3$ (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав подземных вод Барлык-арасанских и Айнабулакских источников Алакольской впадины. 2015 г.

Ионы	Барлык-арасанские минеральные источники			Айнабулакский мин. источник
	скв №1	источник «а»	источник «б»	
	мг/дм^3			
HCO ₃	–	–	–	6,1
Cl	319,1	287,2	304,9	719,8
SO ₄	759,	748,3	742,5	1009,2
SiO ₂	37,6	37,6	36,4	37,6
Sr	3,45		3,28	4,08
Mo	0,07		0,04	0,03
Ca	133,1	149,3	127,1	170,2
Mg	1,2	3,6	1,2	1,2
K	7,9	7	7,7	19,2
Na	420	400	420	750
Mn	0,01		0,01	0,098
F	5,52	5,09	5,3	5,74
Br	0,31		0,31	0,78
B	0,82		0,85	3,76
Сухой остаток	1694	1660	1660	2660
Температура	44	21	29	23
pH	8,03	7,2	7,52	8,24

Такая низкая минерализация азотных термальных вод может быть связана с тем, что их ресурсы формируются в пределах гидрогеологических массивов в поле распространения интрузивных пород. Высокогорные ландшафты в области питания благоприятны для распространения ультрапресных вод, а движение в области транзита происходит по зонам трещиноватости в породах, устойчивых к выветриванию [2, 9].

Еще одна особенность изучаемых вод состоит в необычном соотношении катионов, среди которых резко доминирует Na, содержания же Ca, Mg и K, как правило, низки. Низкие содержания Ca и Mg в термах связаны с выпадением карбонатов и, возможно, вторичных силикатов типа ломонтита [9].

Вполне закономерно, что общая минерализация терм зависит и от их температуры: с ростом температуры сумма солей должна увеличиваться (таблица 1). Для сульфатных натриевых терм эта связь неоднозначна, так как резко отклоняются от общей тенденции воды Барлык-арасанского и Айнабулакского термопроявлений. Для сульфатного натриевого типа вод закономерностей в изменении содержания карбонатных и сульфатных анионов под воздействием температуры не установлено.

В Алакольских термах основным газом является азот, потому они и называются азотными (таблица 2). Второе по объему место в газовом составе занимает кислород. Однако необходимо иметь в виду, что опробование терм велось в местах их разгрузки, а при подходе их к земной поверхности в них мог попадать воздух. Мы считаем, что на большой глубине азотные термы свободный кислород не содержат, но в области транзита кислород в гидротермальные системы может поступать со свежими порциями воды. Третье место среди растворенных газов в рассматриваемых термах занимает углекислый газ, затем аргон, гелий + неон, в отдельных родниках встречаются метан, сероводород, водород. В местах разгрузки терм газы иногда выделяются в свободном виде.

Таблица 2 – Газовый состав азотных терм Барлык-арасанских и Айнабулакских источников Алакольской впадины [3, 7]

Дата отбора	Мин. источник	Лаборатория	Состав газа, объем. %					
			Общий анализ				Анализ ред. газ	
			O ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂ +ред	Ar+Kr+Xe	He+Ne
1933	Барлык-арасан	ЦНИГРИ	2	0,9		97,1	1,545	Повышен.
1940		Гелиогазразведка	0,7	–		99,3	1,126	
1931	Айнабулак	ЦНИГРИ	–		–	100	1,06	Повышен.
1940		Гелиогазразведка	0,1		0,3	99,6	1,096	

Подавляющее большинство исследователей считают, что газы азотных терм, как и сама вода, имеют атмосферное происхождение. По мере проникновения атмосферных осадков с растворенными газами в недра земли по зонам тектонических нарушений кислород расходуется на окисление в основном органического вещества почв и горных пород с образованием углекислого газа биохимического генезиса. Последний, наряду с захваченным из атмосферы, также расходуется на реакции гидролиза алюмосиликатов на всем пути движения воды от областей питания до выхода термальных вод на поверхность. В местах разгрузки, как уже отмечалось, снова в воде может появляться свободный кислород. Азот и другие инертные газы широкомасштабно в реакциях не участвуют и поэтому не только сохраняются в воде на всем пути ее движения, но их относительная доля возрастает, поскольку содержания O₂ и CO₂ уменьшаются. Относительный объем инертных газов возрастает и по еще одной причине – уменьшения объема воды в системе, поскольку вода, как и CO₂, участвует в реакциях гидролиза алюмосиликатов [19]. Газовый состав термальных вод Алакольской впадины не испытывает интенсивного воздействия эманаций из мантии, а формируется в основном за счет трансформации компонентов воздуха. Об этом говорит отношение аргона к азоту.

Изотопный состав воды. Изотопный состав водорода и кислорода воды является надежным критерием для установления ее генезиса. Поэтому нами исследован изотопный состав Барлык-

арасанских и Айнабулакских родников трещинно-жильных вод, разгружающихся в Алакольской впадине. Анализ изотопного состава (содержаний дейтерия и кислорода-18) проб воды выполнялся в Ресурсном центре «Геомодель» Научного парка Санкт-Петербургского университета на лазерном инфракрасном спектрометре Picapto L-2120i. В качестве эталонов использовались стандарты V-SMOW2, GISP и SLAP (МАГАТЭ), USGS-45 и USGS-46 (Геологическая служба США). Погрешность измерения составляла ± 0.1 ‰ для $\delta^{18}\text{O}$ и ± 1 ‰ для $\delta^2\text{H}$.

Полученные данные (таблица 3) показывают, что изотопный состав воды терм в целом указывает на их метеорное происхождение, поскольку основная масса точек ложится вдоль Глобальной линии метеорных вод.

Таблица 3 – Изотопный состав водорода и кислорода воды азотных терм Алакольской впадины, ‰

Название пробы	№ лабораторный	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ SMOW	$\delta^2\text{H}$, ‰ SMOW
№ 1 (Барлык-арасан)	P-22772	-17,6	-132,1
№ 2 (Айнабулак)	P-22773	-18,1	-138,1

Термоминеральные воды на обоих опробованных участках имеют исходное питание атмосферными осадками. На это обстоятельство указывает полное соответствие опробованных источников атмосферным осадкам в предполагаемых областях питания (рисунок 2).

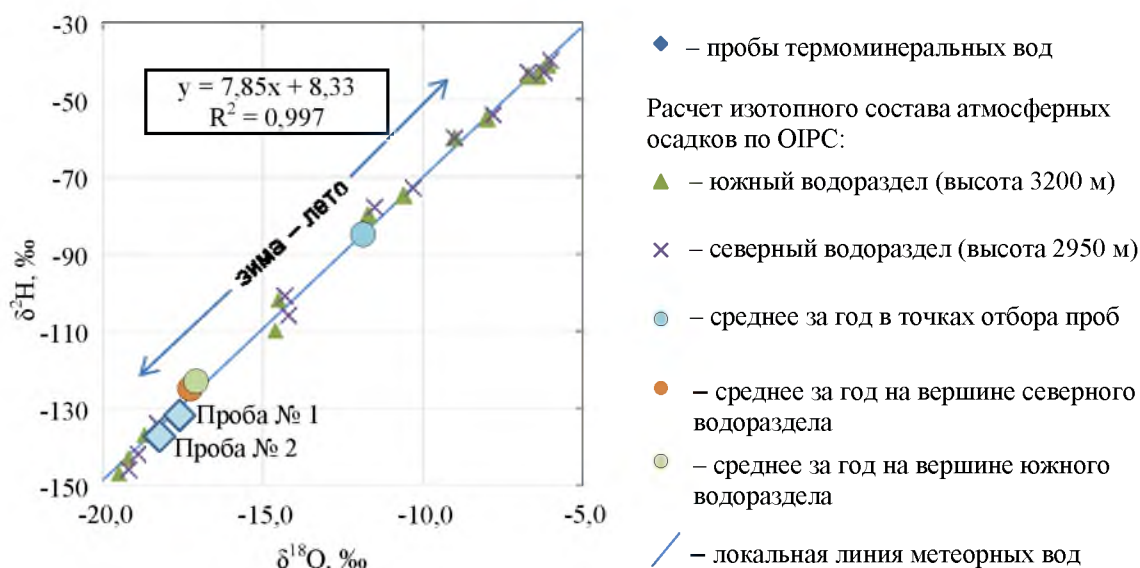


Рисунок 2 – Положение азотных терм на диаграмме $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$

Несмотря на повышенную температуру, по ходу движения воды не испытывали существенного взаимодействия с вмещающими породами, так как отсутствуют изотопные сдвиги, характерные для взаимодействия воды как с карбонатными, так и с силикатными минералами при повышенной температуре. Возможно, что нагрев воды происходит уже на заключительных отрезках пути фильтрации, непосредственно вблизи участков разгрузки. Собственно сам механизм разгрузки, скорее всего, обусловлен возникновением термолифта.

Вероятнее всего, взаимодействие в системе «вода–порода» было ограничено растворением эвапоритов. Кроме общей минерализации на это указывает существенно повышенный Cl/Br коэффициент, низкое содержание гидрокарбонатов и повышенные концентрации сульфатов. Соленосными отложениями, по крайней мере, в случае Айнабулакского минерального источника являются, скорее всего, озерные отложения. Источником формирования эвапоритов было пересыхающее эфемерное озеро, заполнявшееся водой в периоды климатического похолодания и пересыхающее в периоды потепления, сопровождавшихся аридизацией климата.

Отметим, что изотопный состав воды термоминеральных источников существенно легче, чем среднегодовой изотопный состав осадков на участках отбора проб. То есть местные осадки никак не могут быть источником формирования ресурсов термоминеральных вод.

Вероятной областью питания для термоминеральных вод являются для Айнабулакского минерального источника – Тарбагатайский хребет к северу от Алакольской впадины с высотными отметками водоразделов до 2950 м, для группы Барлык-арасанских термоминеральных источников – Жетысуский Алатау горы к югу от Алакольской впадины с высотными отметками водоразделов до 3200 м.

Формирование азотных терм Алакольской впадины. Выходы азотных терм Алакольской впадины приурочены к зонам крупных тектонических разломов, вытянутых в широтном и субширотном направлении и характеризующихся прямолинейностью простирания и крутым падением плоскостей сбрасывателя. Протяженность разломов достигает до 100-500 км и сопровождаются мощными зонами дробления, окварцования и ожелезнения.

Инфильтрационные кислородно-азотные воды, проникая по имеющимся здесь многочисленным трещинами на глубину порядка до 2-3 км постепенно нагреваются и начинают активно взаимодействовать с вмещающими кристаллическими породами. В составе последних присутствуют самые разнообразные компоненты (таблица 4), которые очевидно, при взаимодействии и наличии благоприятных условий могут переходить в воднорастворимое состояние и переноситься подземными водами.

Таблица 4 – Среднее содержание химических элементов в магматических породах кислого состава [3]

Элемент	мг/кг	Элемент	мг/кг	Элемент	мг/кг
K	33400	Co	5	Zr	200
Na	27700	Ti	2300	Sn	45
Mg	5600	W	40	As	1,5
Ca	15800	C	25	Za	46
C	240	Zn	60	Ge	3
F	800	Mo	1,9	Ga	30
S	400	Cu	20	Jn	0,12
Si	323000	Be	5,5	Sr	300
Al	77000	Pb	2323	Ba	830
Fe	27000	Sb	0,4	B	15
Mn	600	Ag	0,15	Ni	8

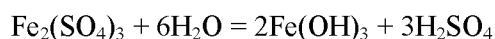
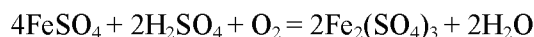
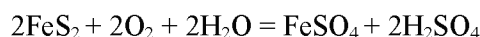
Кислородно-азотный состав растворенных газов по мере продвижения подземных вод от областей питания к зонам разгрузки сменяется на азотный, так как кислород при этом расходуется на различные окислительные процессы. В результате выщелачивания вмещающих кристаллических пород горячими инфильтрационными водами в последних накапливаются разнообразные элементы и соединения. Из таблицы №1 видно, что в конечном итоге в термах происходит накопление ионов SO_4 (до 1009,2 мг/дм³), Cl (до 319-719), F (до 5,74), Na+K (до 428-769), Ca (до 127-170) Mg (до 1,2-3,6), H_2SiO_3 (до 37,6 мг/дм³).

Содержание ионов HCO_3 , Ca, Mg в азотных термах весьма близки к их содержаниям в трещинно-грунтовых водах района, являющихся наряду с атмосферными осадками основными источниками питания азотных терм.

Накопление в азотных термах сульфат-ионов связывается большинством исследователей с процессами окисления различных сульфидных минералов, содержащихся в изверженных породах. Это положение признают исследователи, допускающие участие ювенильных вод в формировании азотных терм, отмечая, однако, возможность образования сульфатов «за счет древних эксгальций магматических очагов».

Окисление сульфидов кислородно-азотными подземными водами приводит к образованию сульфатов железа, меди и других металлов, а также свободной серной кислоты. Известны реакции

окисления сульфидов железа, ведущие при наличии свободного кислорода и невысокой кислотности раствора к образованию последовательно закисного сульфата, окисного сульфата и гидроокиси железа.



Сульфат окиси железа $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ обладает весьма сильным окисляющим и растворяющим действием на сульфиды и играет большую роль в переработке сульфидных минералов в зоне окисления. Гидроокись железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ легко коагулируется и выпадает в осадок. Сульфаты других металлов (свинца, меди) также постепенно окисляются кислородно-азотными водами и образуют различные нерастворимые соединения. Высвобождающаяся после осаждения металлов свободная серная кислота взаимодействует с вмещающими кристаллическими породами и выщелачивает из них SiO_2 , Al, Na, K, F и другие компоненты. Образующийся при этом сульфат алюминия легко гидролизует в осадок в виде геля $\text{Al}(\text{OH})_3$. Таким образом и происходит в общем виде накопление в азотных термах Алакольской впадины SO_4 , Na, F и H_2SiO_2 , являющихся главными макрокомпонентами состава азотных терм.

Выводы. В восточной части Алакольской впадины сформировались благоприятные геологические условия для разгрузки термальных вод на поверхность. Это связано в основном с широким распространением разрывных нарушений сбросового типа. В пределах гидротермальных систем с короткой зоной транзита формируются термальные воды в основном хлоридно-сульфатно-натриево-кальциевого типа.

В качестве основных факторов формирования химического состава терм Алакольской впадины выступают интенсивность водообмена, температура недр и геохимические особенности дренируемых термами пород. Эти факторы воздействуют на геохимический облик.

Приведенные в работе фактические данные однозначно показывают, что гидротермы представляют собой результат взаимодействия древних инфильтрационных вод с вмещающими горными породами и масштабного перераспределения химических элементов между водным раствором и формирующимися в этих условиях вторичными минеральными образованиями. Проникающие в глубокие слои Земли (2-5 км) в благоприятных для этого геоморфологических и структурно-тектонических условиях атмосферные осадки в силу равновесно-неравновесного состояния системы вода – порода непрерывно растворяют вмещающие породы и избирательно концентрируют в растворе химические элементы.

Большая часть химических элементов в термах заимствована из алюмосиликатных минералов в результате реакций гидролиза, который в условиях низких парциальных давлений CO_2 обеспечивает рост pH изучаемых терм.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Барабанов Л.Н., Дислер В.Н. Азотные термы СССР. М.: Геоминвод, 1968. – 120 с.
- [2] Замана Л.В. Кальциевые минеральные равновесия азотных терм Байкальской рифтовой зоны // Геохимия. – 2000. – № 11. – С. 1159-1164.
- [3] Исабаев Т.Т. Подземные воды Алакольской впадины и условия их формирования. Алма-Ата, 1968. – 214 с.
- [4] Кирюхин А.В., Кирюхин В.А., Манухин Ю.Ф. Гидрогеология вулканогенов. – СПб.: Наука, 2010. – 395 с.
- [5] Курмангалиева А.Р. Гидрогеохимический режим Азотных щелочных терм Алма-Атинского сейсмоактивного района. – Алма-Ата, 1993. – 201 с.
- [6] Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1974. – 168 с.
- [7] Мухамеджанов С.М., Исабаев Т.Т., др. Подземные воды хребта Тарбагатай и его равнинных предгорий. – Алма-Ата, 1965. – 146 с.
- [8] Месторождения подземных вод Казахстана. – Т. 3: Минеральные лечебные и термальные подземные воды: Справочник. – Алматы, 1999.
- [9] Плоснин А.М., Замана Л.В., и др. Гидрогеохимические особенности состава Азотных терм Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 5. – С. 647-664.
- [10] Таран Ю.А. Геохимия геотермальных газов. – М.: Наука, 1988. – 167 с.

- [11] Шварцев С.Л. О некоторых вопросах эволюции объема и состава подземных инфильтрационных вод в алюмосиликатных породах // Геохимия. – 1975. – № 6. – С. 905-917.
- [12] Chiocchini U., Castaldi F., Barbieri M., Eulilli V. A stratigraphic and geophysical approach to studying the deep-circulating groundwater and thermal spring, and their recharge areas, in Cimini Mountains-Viterbo areas, central Italy // *Hydrol. J.* – 2010. – Vol. 18, N 6. – P. 1319-1342.
- [13] Gallois R. The formation of the hot springs at Bath Spa, UK // *Geol. Mag.* – 2007. – Vol. 144, N 4. – P. 741-747.
- [14] Gemici U., Filiz S. Hydrochemistry of the Cesme geothermal area in western Turkey // *J. Volcanol. Geother. Res.* – 2001. – Vol. 110. – P. 171-187.
- [15] Grasby S.E., Hutcheon I., Krouse H.R. The influence of water-rock interaction on the chemistry of thermal springs in Western Canada // *Appl. Geochem.* – 2000. – Vol. 15, N 4. – P. 439-454.
- [16] Helvachi C. Hydrogeochemical and hydrogeological integration of thermal waters in the Emet area (Kutahya, Turkey) // *Appl. Geochem.* – 2004. – N 1. – P. 105-118.
- [17] Michard G. Behavior of major elements and some trace elements (Li, Rb, Cs, Sr, Fe, Mn, W, F) in deep hot water from granitic areas // *Chem. Geol.* – 1990. – Vol. 89. – P. 117-134.
- [18] Minissale A., Magro G., Tassi F., Verrucchi C. Origin and circulation patterns of deep and shallow hydrothermal fluids in the Mt. Amiata geothermal region (central Italy) // *Proc. 8th Int. Symp. Water-Rock Inter.*
- [19] Person M., Banerjee A., Hofstra A., Sweetkind D., Gao Y. Hydrologic models of modern and fossil geothermal systems in the Great Basin: genetic implications for epithermal Au-Ag and Carlin-type gold deposits // *Geosphere.* – 2008. – Vol. 4, N 5. – P. 888-917.
- [20] Yum B.W. Movement and hydrogeochemistry of thermal waters in granite at Gosuns, Republic of Korea // *Proc. 8th Int. Symp. Water-Rock Inter.* – Rotterdam, Balkema, 1995. – P. 401-404.

Е. Ш. Жексембаев¹, Е. Ж. Муртазин¹, И. В. Токарев², А. Т. Кабиев³

¹У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Алматы, Қазақстан,

²Санкт-Петербург мемлекеттік университеті, Санкт-Петербург, Ресей,

³Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

АЛАКӨЛ ОЙПАТЫНДАҒЫ АЗОТ ТЕРМО-МИНЕРАЛДЫ СУЛАРЫНЫҢ ГИДРОГЕОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ (ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН)

Аннотация. Мақала Алакөл ойпатында орналасқан азот термо-минералды суларын зерттеуге арналған. Алакөл ойпатында екі аймақта термо-минералды сулар кездеседі. Олар Барлық-арасан және Айнабұлақ тұмалары. Алакөл ойпатындағы азот термдерінің сынамаларына газ, изотоп және химиялық сараптамалар жасалды. Минералды тұмалардың химиялық құрамына талдау жасалып және еріген тұздардың мөлшері анықталды. Азот термдерінің шығу тегіне, олардың геологиялық және геоморфологиялық қоректену жағдайына толық тоқталдық. Изотоптық зерттеудің нәтижесі, Алакөл ойпатының азот терімдері жер үсті суларынан қалыптасатынын көрсетті. Химиялық элементтердің көпшілігі тау жыныстардан алынғаны анықталды.

Түйін сөздер: Алакөл ойпаты, азот термдері, судың химиялық құрамының қалыптасуы, сутегі мен оттегі изотоптық құрамы.