

УДК 550.42(571.55)

DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-262-272

## Петрогеохимическая и изотопная характеристика, связь с магматизмом вольфрамовых месторождений Агинской и Аргунской структурно-формационных зон Восточного Забайкалья

Б. Н. Абрамов<sup>1</sup>, В. Ф. Посохов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 672002, г. Чита, ул. Недорезова, 16а, а/я 1032, e-mail: b\_abramov@mail.ru

<sup>2</sup>Геологический институт СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, e-mail: vitaf1@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.03.2021 г., принята к печати 15.03.2021 г.

**Объект исследования.** Вольфрамовые месторождения Агинской и Аргунской структурно-формационных зон Восточного Забайкалья, их связь с магматизмом, источники и условия формирования. **Методы.** Для определения элементного состава пород применялись рентгенфлуоресцентный метод и стандартный химический анализ; концентрация редкоземельных элементов исследовалась методом сорбционно-атомно-эмиссионного анализа с индуктивно-связанной плазмой. Определение изотопного состава кислорода проводилось с использованием установки MIR 10-30 системы лазерного нагрева с лазером CO<sub>2</sub> мощностью 100 Вт и длиной волны 10.6 мкм в инфракрасной области в присутствии реагента BrF<sub>3</sub> на масс-спектрометре Финниган МАТ 253. Вся аналитическая работа выполнена на базе ЦКП Аналитический центр минералого-геохимических и изотопных исследований ГИН СО РАН. **Результаты.** Установлено, что Антоновогорское и Букукинское вольфрамовые месторождения связаны с границами кукульбейского комплекса, принадлежащими к ильменитовой серии, а руды Спокойнинского месторождения ближе гранитам магнетитовой серии. Выявлена тесная корреляционная связь W с Ta, Nb, Hf и As, свидетельствующая о близких составах рудоносных источников кварц-вольфрамитовых руд вольфрамовых месторождений. **Заключение.** Для Барун-Шивейнского, Антоновогорского и Букукинского месторождений рассчитан изотопный состав кислорода во флюиде в равновесии с кварцем продуктивного этапа, что свидетельствует о магматических источниках оруденения.

**Ключевые слова:** Забайкалье, вольфрамовые месторождения, условия образования, петрогеохимия, изотопы кислорода

## Petrogeochemical and isotopic characteristics, connection with magmatism of tungsten deposits of Aginskaya and Argunskaia structural-formation zones of the Eastern Transbaikalia

Bair N. Abramov<sup>1</sup>, Viktor F. Posokhov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, PO Box 1032, 16a Nedorezova st., Chita 672014, Russia, e-mail: b\_abramov@mail.ru

<sup>2</sup>Geological Institute SB RAS, 6 Sakhyanova st., Ulan-Ude 670047, Russia, e-mail: vitaf1@yandex.ru

Received 01.03.2021, accepted 15.03.2021

**Research subject.** Tungsten deposits of the Aginsky and Argunsky structural-formation zones in the Eastern Transbaikalia. The aim was to clarify the sources and conditions for the formation of tungsten mineralisation, as well as to clarify a relationship between magmatism and tungsten mineralisation. The conditions of deposit formation were studied using data on the chemical composition of rocks and ores and the oxygen isotopic composition of the ore veins of tungsten deposits. **Methods.** The elemental composition of rocks was determined by the methods of X-ray fluorescence and standard chemical analysis; the concentration of rare-earth elements was determined by sorption-atomic emission analysis with inductively coupled plasma (Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude). The examination of oxygen isotope composition was carried out at the Geological Institute of SB RAS (Ulan-Ude) using a MIR 10-30 system of laser heating with a 100W CO<sub>2</sub> laser

**Для цитирования:** Абрамов Б.Н., Посохов В.Ф. (2021) Петрогеохимическая и изотопная характеристика, связь с магматизмом вольфрамовых месторождений Агинской и Аргунской структурно-формационных зон Восточного Забайкалья. *Литосфера*, 21(2), 262-272. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-262-272

**For citation:** Abramov B.N., Posokhov V.F. (2021) Petrogeochemical and isotopic characteristics, connection with magmatism of tungsten deposits of Aginskaya and Argunskaia structural-formation zones of the Eastern Transbaikalia. *Litosfera*, 21(2), 262-272. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-262-272

© Б.Н. Абрамов, В.Ф. Посохов, 2021

and 10.6 microns wavelength in the infrared region in the presence of a  $\text{BrF}_3$  reagent (analyst V.F. Posokhov). *Results and conclusions.* It was established that granites in the Kukulbey complex of the Antonovogorsky and Bukukinsky tungsten deposits correspond to granites of an ilmenite series, while the ores in the Spokoininsky deposit are associated with the granites of a magnetite series. A close correlation was established between W with Ta, Nb, Hf and As, indicating similar compositions of ore-bearing sources of the tungsten deposits. For Barun-Shiveinsky, Antonovogorsky and Bukukinsky deposits, the oxygen isotope compositions in the fluid in equilibrium with quartz of the productive stage was calculated, indicating the magmatic sources of mineralisation.

**Keywords:** Transbaikalia, tungsten deposits, conditions of formation, petrogeochemistry, oxygen isotopes

## ВВЕДЕНИЕ

Вольфрамовые месторождения Восточного Забайкалья локализованы в олово-вольфрам-редкометалльном поясе Монголо-Забайкальской минерагенической провинции. Значительная часть этих месторождений сосредоточена в Агинской и Аргунской структурно-формационных зонах Восточного Забайкалья (Руженцев, Некрасов, 2009). На территории Восточного Забайкалья эти структуры охватывают бассейны Онона и Шилки. Образование вольфрамовых месторождений связывается с процессами формирования магматических образований кукульбейского комплекса ( $J_3$ ). Основная задача исследования состоит в выяснении условий формирования, обнаружении связи оруденения с конкретными магматическими образованиями, что имеет большое значение для понимания условий образования подобных месторождений.

### ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ВОЛЬФРАМОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, СВЯЗЬ МАГМАТИЗМА С РУДООБРАЗОВАНИЕМ

В Восточном Забайкалье образование вольфрамовых и редкометалльных месторождений связано главным образом с процессами формирования интрузий позднемезозойского кукульбейского комплекса ( $J_3$ ). Выходы данных интрузий расположены южнее Монголо-Охотского глубинного разлома. В Агинской структурно-формационной зоне отмечается тесная пространственная связь месторождений оловянно-вольфрамово-редкометалльного и уран-золото-полиметаллического рудных поясов с кукульбейским комплексом (рис. 1) (Сырицо и др., 2018).

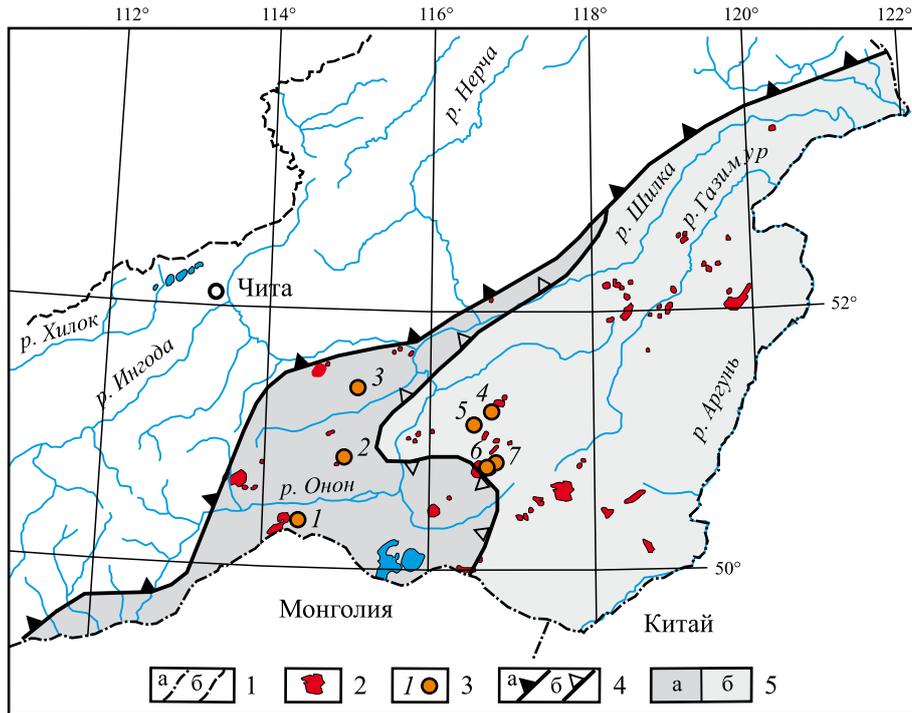
В составе кукульбейского комплекса выделяются три фазы внедрения. Первая представлена безрудными биотитовыми гранитами. Со второй лейкогранитовой фазой связано образование грейзеновых олововольфрамовых месторождений, с третьей фазой литий-фтористых гранитов – образование редкометалльных танталоносных месторождений (Козлов, 2005). Изотопный возраст гранитов

кукульбейского комплекса попадает в диапазон 150–145 млн лет ( $J_3$ ) (Козлов, 2011).

Рассмотрим петрогеохимические особенности интрузивных образований, развитых в рудных полях вольфрамовых месторождений. По условиям формирования С. Ишихара (Ishihara, 1977) выделил гранитоиды магнетитовой и ильменитовой серий. Их различия обусловлены глубинными условиями формирования магматических расплавов и режимами кристаллизации. Установлено, что граниты магнетитовой серии кристаллизовались в условиях закрытой системы, а гранитоиды ильменитовой серии – в открытой системе (Валуи и др., 2005). В гранитах магнетитовой серии  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} > 0.5$ , а в ильменитовой серии –  $< 0.5$  (Стриха, 2005). На диаграмме  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}-\text{Al}/(2\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$  гранитоиды Антоновогорского и Букукинского вольфрамовых месторождений соответствуют гранитам ильменитовой серии, Спокойнинского месторождения – в основном гранитам магнетитовой серии (рис. 2).

Магматические образования магнетитовой серии образованы при дифференциации океанических расплавов, ильменитовой серии – при контаминации и ассимиляции метаосадков (Валуи и др., 2005). Большинство кислых магматических образований вольфрамовых месторождений соответствуют гранитоидам S-типа, что указывает на их образование в результате частичного плавления осадочных пород (см. рис. 2а) (Ефремова, Стафеев, 1986). Соответствие гранитов вольфрамовых месторождений S-типу подтверждается данными коэффициента глиноземистости  $\text{ASI} > 1$ , индикаторными отношениями  $\text{Eu}/\text{Sm} < 0.2$ , указывающими на их формирование в верхней континентальной коре, а также значительной степенью дифференциации магматических расплавов  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  (табл. 1). Выявлено, что граниты с четко проявленной отрицательной аномалией европия, образованные в восстановительной обстановке, соответствуют магматическим образованиям ильменитовой серии (Мишин, Романовский, 1992).

Вольфрамоносные граниты кукульбейского комплекса Букукинского и Спокойнинского месторождений характеризуются наличием четких отрицательных европиевых аномалий (см. табл. 1, рис. 3).

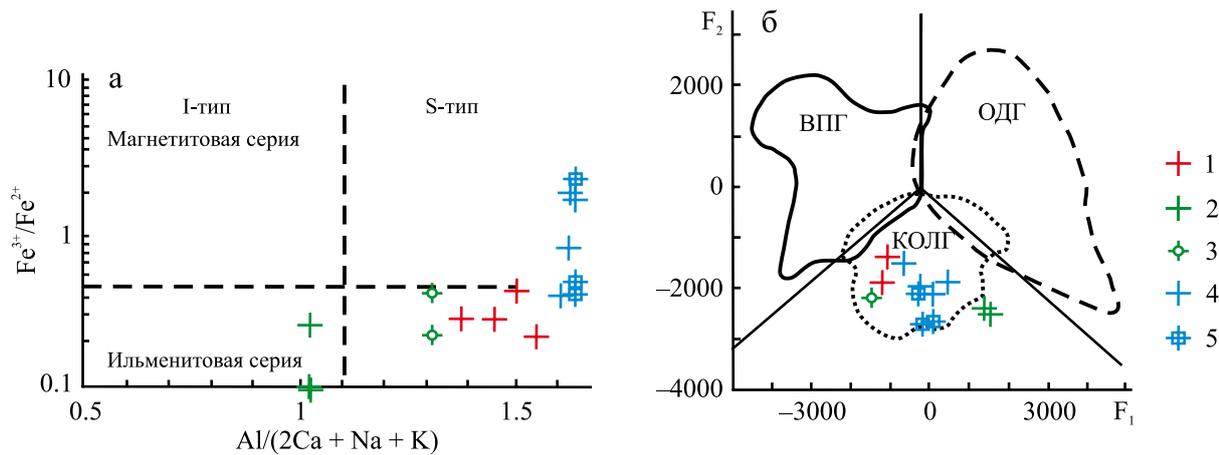


**Рис. 1.** Схема размещения выходов интрузий кукульбейского интрузивного комплекса ( $J_3$ ) и вольфрамовых месторождений.

1 – государственные (а) и административные (б) границы; 2 – выходы интрузий кукульбейского комплекса; 3 – вольфрамовые месторождения: 1 – Дедовогорское, 2 – Спокойнинское, 3 – Барун-Шивеинское, 4 – Белухинское, 5 – Букукунское, 6 – Антоновогорское, 7 – Арбуйское; 4 – Монголо-Охотская сатура: а – Основная ветвь, б – Ононская ветвь; 5 – структурно-формационные зоны: а – Агинская, б – Аргунская.

**Fig. 1.** Outline distribute of the intrusions of the Kukulbeya intrusive complex ( $J_3$ ) and the tungsten deposits.

1 – state (a) and administrative (б) limits; 2 – outputs intrusions Kukulbeya complex; 3 – tungsten deposits: 1 – Dedovich, 2 – Spokoininsko, 3 – Barun-Shiveinskoe, 4 – Belukhinskoe, 5 – Bukukinskoe, 6 – Antonovogorskoe, 7 – Arbuiskoe; 4 – the Mongol-Okhotsk suture: a – Main branch, б – Ononskaya branch; 5 – structure-formation zones: a – Aginskaya, б – Argunskaya.



**Рис. 2.** Дискриминационные диаграммы магматических образований кислого состава.

а – диаграмма  $Fe^{+3}/Fe^{+2}-Al/(2Ca + Na + K)$  (Стриха, 2005); б –  $F_1-F_2$  с фигуративными точками внутрилитных (ВПГ), коллизонных (КОЛГ) и субдукционных (ОДГ) гранитов (Великославинский, 2003).  
 $F_1 = 196.203SiO_2 + 753.953TiO_2 + 481.96Al_2O_3 + 92.664FeO^* + 521.5MgO + 374.766CaO + 7.571Na_2O - 584.778K_2O + 0.379Ba - 0.339Sr - 0.733Rb - 0.429La - 3.33Ce - 5.242Nd + 10.565Sm - 19823.8$   
 $F_2 = 1992.962SiO_2 + 4002.66TiO_2 + 1002.231Al_2O_3 + 1297.136FeO^* + 262.067MgO + 1250.48CaO + 1923.417Na_2O + 1009.287K_2O + 0.3634Ba - 0.325Sr - 0.701Rb + 0.8015La + 3.347Ce + 2.68Nd + 10.11Sm - 126860.0$

1 – граниты кукульбейского комплекса Антоновогорского месторождения, 2 – граниты кукульбейского комплекса Букукинского месторождения, 3 – кварцевые порфиры (дайки) Букукинского месторождения, 4 – граниты кукульбейского комплекса Спокойнинского месторождения, 5 – кварцевые порфиры Спокойнинского месторождения.

**Fig. 2.** Discrimination diagrams of magmatic formations of acidic composition.

a – diagram  $Fe^{3+}/Fe^{2+}-Al/(2Ca + Na + K)$  (Strikha, 2005); б –  $F_1-F_2$  with figurative points of intraplate (IDG), collisional (COLG) and subduction (ODG) granites (Velikoslavinsky, 2003).

$F_1 = 196.203SiO_2 + 753.953TiO_2 + 481.96Al_2O_3 + 92.664FeO^* + 521.5MgO + 374.766CaO + 7.571Na_2O - 584.778K_2O + 0.379Ba - 0.339Sr - 0.733Rb - 0.429La - 3.33Ce - 5.242Nd + 10.565Sm - 19823.8$ .

$F_2 = 1992.962SiO_2 + 4002.66TiO_2 + 1002.231Al_2O_3 + 1297.136FeO^* + 262.067MgO + 1250.48CaO + 1923.417Na_2O + 1009.287K_2O + 0.3634Ba - 0.325Sr - 0.701Rb + 0.8015La + 3.347Ce + 2.68Nd + 10.11Sm - 126860.0$ .

1 – granites of the Kukulbey complex of Antonovogorsky deposit, 2 – granites of the Kukulbey complex of Bukukinsky deposit, 3 – quartz porphyries (dikes) of Bukukinsky deposit, 4 – granites of Kukulbey complex of Spokoininsky deposit, 5 – quartz porphyries of Spokoininsky deposit.

Геодинамические обстановки Восточного Забайкалья в мезозойский период связаны с надвиганием Сибирского континента на структуры Монголо-Охотского океанического бассейна (Зорин и др., 1998). Установлено, что внутренние зоны вулканических поясов (по отношению к океану) сложены магматическими образованиями магнетитовой серии, внешние зоны – ильменитовой серии (Ishihara, Sasaki, 1989; Мишин, Романовский, 1992). Магматические образования вольфрамовых месторождений в основном соответствуют породам ильменитовой серии (Ishihara, Sasaki, 1989; Мишин, Романовский, 1992). Геохимические особенности интрузий кислого состава вольфрамовых месторождений отвечают коллизионным образованиям (см. рис. 2б).

Установлено, что потенциальная рудоносность гранитов определяется возможностями концентрирования рудных элементов в остаточных магматических очагах, условиями дегазации на различных этапах кристаллизационной дифференциации магм (Таусон, 1977), окислительно-восстановительными обстановками их образования (Ishihara, 1977), размерами и глубиной формирования интрузивных образований, геохимическим типом магм и тектоническими обстановками в периоды формирования интрузий (Спиридонов и др., 2006).

Известно, что рудная специализация гранитных комплексов находит отражение в петрохимических и геохимических показателях гранитоидов. Рассмотрим рудную специализацию мезозойских интрузивных образований, развитых в рудных полях вольфрамовых месторождений. Для выявления принадлежности интрузивных образований вольфрамовых месторождения к тренду вольфрамоносных интрузий использована диаграмма Л.С. Бородина (2004). Анализ распределения значений петрогенных компонентов магматических образований Антоновогорского и Букукинского вольфрамовых месторождений на бинарной диаграмме  $(Na + K)/Ca-As$  указывает на их размещение в основном в поле известково-субщелочных гранитов и некоторую совмещенность с трендом вольфрамоносных интрузий. Магматические образования района

Спокойнинского вольфрамового месторождения размещены в поле субщелочных и щелочных гранитов и лейкогранитов и имеют четкое пространственное соответствие тренду редкометалльных интрузий (рис. 4).

Это объясняется особенностью геологического строения Орловско-Спокойнинского рудного узла. Здесь сателлитами Хангилайского безрудного гранитного массива являются Орловский редкометалльный и Спокойнинский вольфрамоносный массивы, имеющие одинаковые временные интервалы формирования, что предполагает определенную генетическую связь W с Li-F гранитами (Сырицо и др., 2018).

Вольфрамовые месторождения Восточного Забайкалья имеют тесную пространственную связь с выходами гранитов кукульбейского комплекса. В Спокойнинском и Антоновогорском месторождениях они являются рудовмещающими. Исключение составляет Барун-Шивеинское месторождение. Характерной особенностью геологического строения месторождения является отсутствие магматических образований.

Формирование вольфрамового оруденения на месторождениях Восточного Забайкалья прошло в несколько стадий. Так, на Букукинском, Антоновогорском и Белухинском месторождениях выделяются в основном три стадии оруденения: первая – кварц-вольфрамитовая, вторая – кварц-сульфидная, третья – стадия халцедоновидного кварца (Смирнов, 1978). На Спокойнинском месторождении выделяются два основных типа оруденения. Ранняя стадия представлена вольфрамоносными и бериллиевыми грейзенами в апикальной части Спокойнинского массива, поздняя – кварц-вольфрамитовыми жилами. Наличие нескольких стадий оруденения свидетельствует о пульсирующем характере формирования рудоносных растворов.

Корреляционный анализ кварц-вольфрамитовых руд вольфрамовых месторождений Забайкалья выявил тесную связь вольфрама с рядом одних и тех же элементов (табл. 2). Установлена тесная корреляционная связь W с Ta, Nb, Hf и As. Эти данные

**Таблица 1.** Химический состав интрузивных образований вольфрамовых месторождений Восточного Забайкалья  
**Table 1.** Chemical composition of intrusive formations of tungsten deposits in Eastern Transbaikalia

Компонент	900	901	902	903	915	916	942	943	944	951	962	973
SiO <sub>2</sub>	78.40	72.00	72.50	79.80	78.30	71.70	66.80	63.20	66.90	70.90	73.80	69.80
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.44	0.44	0.11	0.11	0.53	0.48	0.58	0.46	0.38	0.09	0.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.80	13.80	13.70	11.16	11.60	13.50	14.90	1.07	14.90	14.20	13.80	14.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	0.60	0.95	0.14	0.29	2.88	0.21	1.07	0.20	3.85	1.20	0.55
FeO	0.46	2.47	2.43	0.50	0.42	0.53	2.90	4.03	2.69	0.23	0.46	1.17
MnO	0.01	0.05	0.05	0.01	0.01	0.07	0.07	0.16	0.06	0.07	0.04	0.14
MgO	0.11	0.94	0.87	0.10	0.09	0.92	2.92	4.32	2.64	0.78	0.25	0.57
CaO	0.25	0.82	0.73	0.38	0.42	0.44	3.25	3.57	3.41	0.82	1.21	1.70
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.09	3.10	2.97	3.04	3.27	0.27	4.45	3.90	4.52	0.22	3.76	1.96
K <sub>2</sub> O	4.09	3.18	3.14	3.84	4.22	5.95	3.26	2.71	3.37	4.65	4.05	5.97
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.17	0.17	0.08	0.09	0.50	0.16	0.20	0.17	0.19	0.13	<0.10
П.п.п.	0.81	1.81	1.67	0.90	0.77	3.04	0.88	1.57	0.66	3.65	0.77	2.39
∑	99.47	99.38	99.63	100.5	99.59	99.73	100.2	99.61	99.98	99.94	99.56	99.44
Zn	78	54	83	107	141	72	101	358	141	52	89	173
Hf	2.6	3.9	6.5	2.4	2.7	7.4	1.7	1.8	5.3	5.8	2.0	0.9
Ta	9.5	3.0	5.8	8.3	11.8	2.4	3.3	3.6	3.7	6.7	15.7	7.8
W	<b>270</b>	<b>100</b>	<b>580</b>	<b>270</b>	<b>345</b>	<b>225</b>	<b>192</b>	<b>195</b>	<b>122</b>	<b>206</b>	<b>122</b>	<b>644</b>
As	15	16	13	19	17	3100	8	12	12	100	14	100
Pb	28	20	22	29	32	8	21	22	43	103	29	81
Th	32	24	25	32	32	28	26	26	25	28	34	24
U	17	2.6	2.7	20	18	5	4	4.8	5	3.5	26	8
Rb	389	125	146	392	389	861	131	317	116	565	544	581
Sr	27	190	175	27	31	72	680	673	651	25	208	282
Zr	50	177	197	54	47	228	125	133	131	170	54	125
Nb	30	11	11	39	35	17	8.2	8.8	8.3	15	40	9.0
Ba	46	617	613	47	38	540	641	553	746	371	126	1170
La	21.1	28.4	29.0	17.8	–	33.1	27.0	34.6	27.4	32.0	20.0	27.1
Ce	35.4	51.0	50.0	39.6	–	66.5	52.0	71.3	55.4	63.9	39.8	55.5
Pr	3.9	5.2	5.4	3.4	–	8.0	4.4	6.9	5.2	6.0	3.9	6.0
Nd	13.5	21.9	21.7	11.8	–	29.2	21.0	28.7	22.1	25.5	15.5	20.8
Sm	3.9	4.8	4.7	3.4	–	6.2	4.1	5.7	4.45	4.9	3.65	4.2
Eu	0.13	0.85	0.84	0.1	–	0.97	0.96	1.25	0.98	0.65	0.28	0.90
Gd	3.6	4.0	3.9	3.5	–	4.5	2.3	3.1	2.4	2.3	2.9	2.8
Tb	0.8	0.69	0.60	0.72	–	0.64	<0.5	0.51	<0.5	<0.5	0.65	<0.5
Dy	4.0	3.3	3.3	3.8	–	4.3	1.6	2.4	1.9	2.65	4.25	1.8
Ho	0.8	0.66	0.62	0.74	–	0.96	<0.5	0.57	0.47	<0.5	0.92	<0.5
Er	2.7	2.1	2.1	2.6	–	2.9	1.0	1.3	1.0	1.5	3.0	0.79
Tm	0.46	0.30	<0.3	0.35	–	0.47	<0.3	<0.3	<0.3	0.3	0.51	<0.3
Yb	3.0	2.3	2.2	2.9	–	2.9	0.8	1.1	0.88	1.4	3.25	0.68
Lu	0.33	0.27	0.25	0.31	–	0.33	<0.15	0.15	<0.15	0.19	0.32	<0.15
Y	29.5	22.1	22.7	29.8	–	28.2	11.0	15.7	10.5	18.65	32.65	9.9
∑TR	123.1	147.9	147.3	120.8	–	189.2	126.1	183.2	132.7	159.9	131.6	130.5
(La/Yb) <sub>n</sub>	4.88	8.56	9.15	4.26	–	7.92	23.39	21.79	22.94	15.87	4.26	27.76
Eu/Eu*	0.11	0.73	0.60	–	–	0.56	0.95	0.70	0.92	0.58	0.26	0.80
Eu/Sm	0.03	0.18	0.18	–	–	0.16	0.23	0.22	0.22	0.13	0.08	0.21
Rb/Sr	14.41	0.66	0.83	12.55	–	11.96	0.19	0.47	0.18	22.6	2.61	2.06
ASI	2.97	1.37	1.42	2.75	2.65	1.77	0.88	0.90	0.97	4.79	2.11	1.16

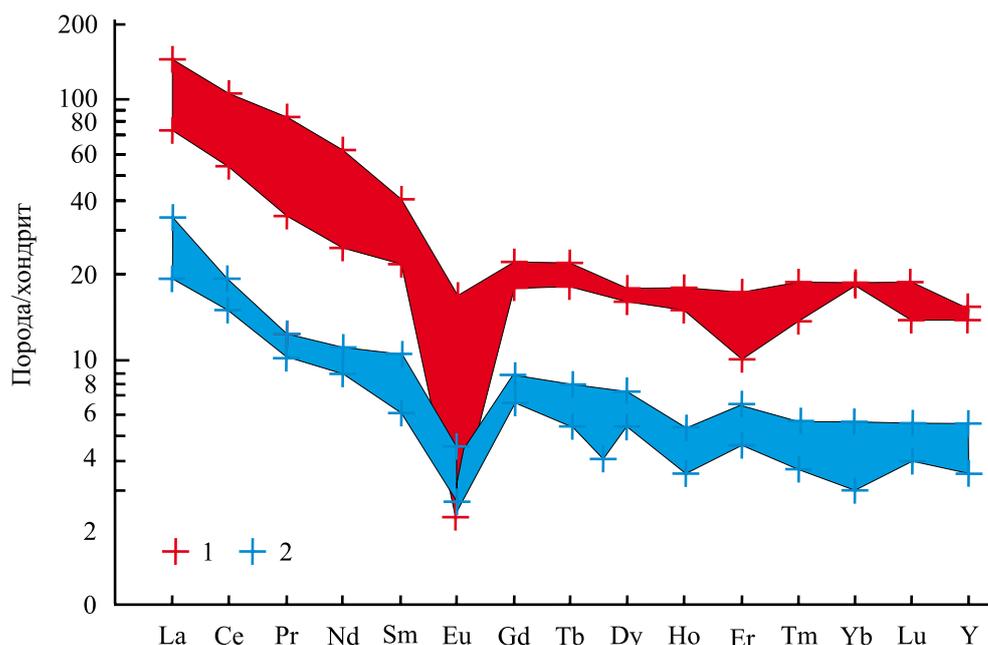
Примечание. Номера проб. **Антоновогорское месторождение:** 900, 903, 915, 916 – граниты кукульбейского комплекса (J<sub>2-3</sub>), 901, 902 – дайки диоритовых порфиров. **Букукинское месторождение:** 942, 943, 944 – гранодиориты шахтаминского комплекса (J<sub>2-3</sub>), 951, 962 – дайки кварцевых порфиров, 973, 975 – граниты шахтаминского комплекса (J<sub>2-3</sub>). **Спокойнинское месторождение:** 439, 443, 444, 457, 457-1, 458 – граниты кукульбейского комплекса (J<sub>2-3</sub>), 454, 454-1, 455 – дайки гранит-порфиров, 456, 456-1 – дайки лампрофиров. ASI = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO) в молекулярных количествах (Ефремова, Стафеев, 1986). Eu/Eu\* = Eu<sub>N</sub>/(Sm<sub>N</sub> · Gd<sub>N</sub>)<sup>1/2</sup>. Прочерк – нет данных.

Таблица 1. Окончание

Table 1. Ending

Компонент	975	439	443	454	454-1	455	456	456-1	457	457-1	458
SiO <sub>2</sub>	73.50	75.5	75.00	74.60	75.10	74.60	51.00	48.00	76.00	77.00	76.60
TiO <sub>2</sub>	0.21	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	2.01	2.28	0.07	0.07	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.10	14.00	14.10	14.20	14.20	14.40	13.90	14.50	13.70	13.40	13.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25	0.19	0.60	0.24	0.58	0.27	1.13	1.38	0.37	0.51	0.15
FeO	1.14	0.40	0.24	0.56	0.24	0.52	11.20	11.92	0.44	0.28	0.56
MnO	0.04	0.14	0.31	0.26	0.28	0.26	0.26	0.30	0.01	0.01	0.01
MgO	0.43	0.10	0.10	0.12	0.10	0.12	6.76	7.24	0.15	0.10	0.12
CaO	1.18	0.47	0.47	0.42	0.39	0.39	9.11	8.68	0.22	0.20	0.11
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.87	4.76	4.69	4.60	4.43	4.60	2.14	2.80	3.82	3.49	3.83
K <sub>2</sub> O	4.79	2.82	2.88	3.14	3.10	3.17	0.26	0.36	4.25	4.19	4.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.20	0.21	<0.10	<0.10	<0.10
П.п.п.	1.85	0.82	0.93	1.12	0.95	1.10	2.10	2.54	0.79	0.85	0.94
∑	99.36	99.23	99.35	99.29	99.40	99.46	100.1	100.2	99.82	100.1	100.0
Zn	106	22	221	26	24	24	118	133	23	22	21
Hf	0.7	4.7	5.5	–	3.6	–	–	4.7	–	3.8	–
Ta	6.5	7.2	19.3	26	25.9	24	–	–	8.3	8.4	8.2
W	<b>215</b>	<b>1870</b>	<b>2507</b>	<b>745</b>	<b>509</b>	<b>346</b>	<b>36</b>	<b>–</b>	<b>211</b>	<b>217</b>	<b>210</b>
As	15	66	148	31	15	15	24	28	7	10	15
Pb	41	13	150	30	24	24	13	22	30	36	22
Th	32	5.8	9	9	8.3	6.7	–	–	23	25	–
U	4	5.5	17	10	10	12	5.4	5.4	16	16	–
Rb	201	302	323	390	375	391	14	20	421	424	–
Sr	214	58	63	51	54	54	16	513	34	30	–
Zr	129	40	41	75	48	77	138	147	98	110	–
Nb	9.5	33	39	68	73	67	5.4	6.4	40	34	–
Ba	836	60	24	10	20	20	16	11	55	49	67
La	26.7	4.68	6	6.20	5.81	8.58	4.03	4.19	10.2	11.0	9.88
Ce	51.6	8.95	11.4	10.9	12.2	13.4	13.5	14.2	24.6	26.2	21.6
Pr	6.0	1.00	1.10	1.10	1.15	1.25	2.30	2.50	3.20	3.37	2.80
Nd	19.1	4.21	5.35	4.71	4.89	5.12	13.9	14.8	14.9	15.3	14.7
Sm	3.8	1.00	1.60	1.37	1.60	1.50	5.15	5.50	5.09	5.52	5.19
Eu	0.66	0.20	0.26	0.20	0.17	0.16	1.76	1.89	0.24	0.21	0.23
Gd	2.0	1.36	1.79	1.64	1.79	1.65	7.21	7.54	7.94	7.51	7.13
Tb	<0.5	0.20	0.30	0.30	0.25	0.30	1.30	1.46	1.70	1.55	1.45
Dy	2.3	1.33	1.90	1.73	1.73	1.70	8.47	9.79	12.0	10.7	10.0
Ho	<0.5	0.20	0.26	0.18	0.30	0.30	1.84	2.17	2.80	2.49	2.34
Er	1.3	0.74	1.10	0.78	0.80	0.80	5.35	6.20	8.75	7.50	1.04
Tm	<0.3	0.11	0.14	0.10	0.12	0.15	0.76	0.88	1.25	1.10	1.04
Yb	1.15	0.69	0.95	0.53	0.51	0.49	5.32	6.17	8.86	7.45	7.36
Lu	<0.15	0.10	0.14	0.10	0.13	0.12	0.83	0.95	1.27	1.06	1.05
Y	12.15	7.37	11.6	10.0	9.52	9.54	51.8	63.0	94.7	77.4	73.8
∑TR	126.8	32.14	43.89	39.84	40.97	45.06	123.5	141.2	197.5	178.4	159.6
(La/Yb) <sub>n</sub>	16.0	4.77	4.37	8.16	7.90	11.36	0.52	0.47	0.82	1.03	0.93
Eu/Eu*	0.73	0.52	0.47	0.41	0.30	0.31	0.88	0.90	0.11	0.10	0.12
Eu/Sm	0.17	0.20	0.16	0.15	0.11	0.11	0.34	0.34	0.05	0.04	0.04
Rb/Sr	0.94	5.21	5.13	7.64	6.94	7.24	0.87	0.04	12.38	14.13	–
ASI	2.20	2.25	2.30	2.44	2.53	1.23	0.68	0.47	2.91	3.19	3.03

Note. Sample numbers. **Antonovogorsky deposit:** 900, 903, 915, 916 – granites of the Kukulbey complex (J<sub>2-3</sub>), 901, 902 – dikes of dioritic porphyrites. **Bukukinsky deposit:** 942, 943, 944 – granodiorites of Shakhtaminsky complex (J<sub>2-3</sub>), 951, 962 – dikes of quartz porphyries, 973, 975 – granites of Shakhtaminsky complex (J<sub>2-3</sub>). **Spokoininsky deposit:** 439, 443, 444, 457, 457-1, 458 – granites of the Kukulbey complex (J<sub>2-3</sub>), 454, 454-1, 455 – granite-porphyry dikes, 456, 456-1 – lamprophyre dikes. ASI = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO) in molecular quantities (Efremova, Stafeev, 1985). Eu<sub>N</sub>/(Sm<sub>N</sub> · Gd<sub>N</sub>)<sup>1/2</sup>. Dash – no data.



**Рис. 3.** Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в гранитах кукульбейского комплекса ( $J_3$ ).

1 – Антоновогорское месторождение, 2 – Спокойнинское месторождение.

**Fig. 3.** Spider-diagram of rare-earth elements distribution in granites of the Kukulbey complex ( $J_3$ ).

1 – Antonovogorsky deposit, 2 – Spokoininsky deposit.

свидетельствуют о близких составах рудоносных источников вольфрамовых месторождений. Типорморфной особенностью эндогенного оруденения, связанного с кукульбейским комплексом, является комплексность. Граниты поздних фаз имеют отчетливо редкометалльный характер, выраженный в повышенных концентрациях фтора и редких элементов (Косалс, Темников, 1983).

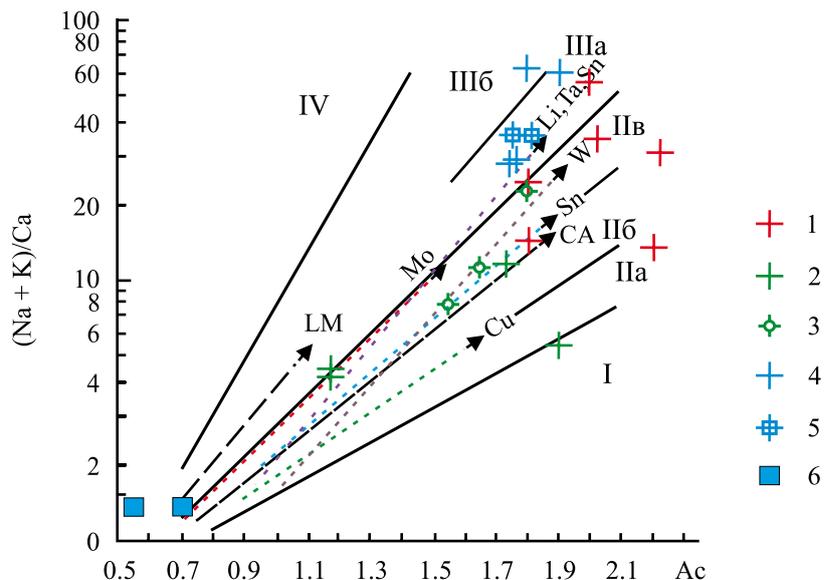
Для определения изотопного состава кислорода были отобраны образцы кварца из кварцево-вольфрамитовых жил Антоновогорского, Букуинского и Спокойнинского месторождений. Изотопный состав кислорода гидротермального флюида рассчитан в системах кварц–вода по уравнению  $\delta^{18}\text{O}_{\text{кварц}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.34 (10^6/T^2) - 3.31$ , где  $T$  – температура по Кельвину (Matsuhisa et al., 1979).

Для Барун-Шивеинского месторождения рассчитанный изотопный состав кислорода во флюиде в равновесии с кварцем продуктивного этапа (150–210°C) (Бергер, 1978) меняется от 6.95 до 12.92‰; для Антоновогорского месторождения (220–285°C) (Редина и др., 2019) – от 2.97 до 6.48‰; для Букуинского – (290–310°C) – от 4.87 до 8.58‰ (табл. 3). Большая часть рассчитанных значений попадает в интервал 5.5–9.5‰, что соответствует водному флюиду магматической природы (Ridley, Diamond, 2000). Значения для флюида ниже  $\delta^{18}\text{O}‰ + 6‰$  определены влиянием метеорных вод на заключи-

тельном этапе эволюции рудообразующей системы. Значения, превышающие  $\delta^{18}\text{O}‰ + 9.5‰$ , обусловлены, по-видимому, взаимодействием рудоносных флюидов с вмещающими породами. При формировании кварц-вольфрамитовых рудных жил активное участие принимали метеорные воды (Борщевский и др., 1980). Наибольшими содержаниями метеорной воды в процессе рудообразования характеризовались руды Антоновогорского месторождения (45–75%), меньшими содержаниями – Букуинского (48–60%) и Барун-Шивеинского месторождения (30–62%).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫВОДЫ

Геохимические особенности интрузий кислото состава вольфрамовых месторождений соответствуют коллизионным образованиям (см. рис. 2б). Установлено, что гранитоиды Антоновогорского и Букуинского вольфрамовых месторождений соответствуют гранитам ильменитовой серии, Спокойнинского месторождения – в основном гранитам магнетитовой серии. Большинство кислых магматических образований вольфрамовых месторождений соответствуют гранитоидам S-типа. Анализ распределения значений петрогенных компонентов магматических образований Антоновогорского и Букуинского вольфрамовых месторождений



**Рис. 4.** Диаграмма  $(Na + K)/Ca$ – $Ac$  для магматических образований Хапчерангинского оловополиметаллического месторождения с эталонными трендами интрузивных образований (Бородин, 2004).

Квалификационные поля: I – известковое, II – известково-щелочное (IIa – субизвестковистые, IIб – известково-щелочные, IIв – известково-субщелочные граниты); III – субщелочное (IIIa – субщелочные и щелочные граниты и лейкограниты, IIIб – щелочные агапитовые граниты и лейкограниты); IV – щелочное. Эталонные тренды (штриховые линии): CA – главный известково-щелочной, LM – латитовый (монзонитовый).  $Ac$  – коэффициент валовой кислотности пород. Эталонные тренды рудогенных гранитоидных формаций (пунктирные линии): Sn – оловянный, Cu – меднопорфировый, Mo-(Cu) – молибденовый, W-(Mo) – вольфрам-молибденовый; Li, Ta, Nb, Sn – литий-тантал-ниобий-оловянный.

1 – граниты кукульбейского комплекса Антоновогорского месторождения, 2 – граниты кукульбейского комплекса Букукинского месторождения, 3 – кварцевые порфиры (дайки) Букукинского месторождения, 4 – граниты кукульбейского комплекса Спокойнинского месторождения, 5 – кварцевые порфиры Спокойнинского месторождения, 6 – лампрофиры (дайки) Спокойнинского месторождения.

**Fig. 4.** The magmatic formations diagram of  $(Na+K)/Ca$ – $Ac$  for Khapcheranginsky tinpolymetallic deposit with reference trends of intrusive formations (Borodin, 2004).

Qualification fields: I – calcareous, II – calcareous-alkaline (IIa – sub-calcareous, IIб – calcareous-alkaline, IIв – calcareous-sub-alkaline granites); III – subalkaline (IIIa – subalkaline and alkaline granites and leucogranites, IIIб – alkaline agpaitic granites and leucogranites); IV – siliceous. Reference trends (dashed lines): CA – main lime-alkaline, LM – latite (monzonite).  $Ac$  – coefficient of gross acidity of rocks. Reference trends of ore-formations of granitoid formations (dotted lines): Sn – tin, Cu – copper-porphyrific, Mo-(Cu) – molybdenum, W-(Mo) – tungsten-molybdenum; Li, Ta, Nb, Sn – lithium-tantalum-niobium-tin.

1 – granites of the Kukulbey complex of Antonovogorsky deposit, 2 – granites of the Kukulbey complex of Bukukinsky deposit, 3 – quartz porphyries (dikes) of Bukukinsky deposit, 4 – granites of Kukulbey complex of Spokoininsky deposit, 5 – quartz porphyries of Spokoininsky deposit, 6 – lamprophyres (dikes) of Spokoininsky deposit.

**Таблица 2.** Корреляционные связи вольфрама с элементами-примесями в кварц-вольфрамитовых жилах вольфрамовых месторождений Восточного Забайкалья

**Table 2.** Correlations of tungsten with impurity elements in quartz-tungstite veins of tungsten deposits in Eastern Transbaikalia

Месторождение	As	Cu	Hf	Nb	Ta	Hg	Sb	U	Th
Спокойнинское n = 20	-0.01	0.06	0.74	0.86	0.79	–	-0.71	0.08	-0.89
Букукинское n = 12	<b>0.91</b>	-0.27	<b>0.80</b>	<b>0.65</b>	<b>0.63</b>	–	-0.01	0.62	-0.45
Антоновогорское n = 11	<b>0.54</b>	-0.30	–	<b>0.82</b>	<b>0.58</b>	–	0.04	0.58	0.23
Барун-Шивейское n = 30	0.66	-0.06	<b>0.82</b>	<b>0.79</b>	<b>0.75</b>	-0.02	0.36	-0.21	0.48

Примечание. n – число анализов. Прочерк – нет данных.

Note. n – the number of analyzes. Dash – no data.

**Таблица 3.** Изотопный состав кислорода и расчетный состав флюида при формировании вольфрамовых месторождений**Table 3.** Oxygen isotope composition and calculated fluid composition in the tungsten deposits formation

Номер проб	Минерал	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ SMOW	Доля метеорной воды, %	Минерал	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ SMOW	Изотопный состав флюида при разных температурах $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	
						210°C	150°C
<b>Барун-Шивейнское месторождение</b>							
392	Кварц	22.8	56–71	–	–	11.79	7.45
393	–“–	22.3	53–69	Вольфрамит	21.4	11.32	6.95
394	–“–	22.8	54–69	–	–	11.82	7.45
395	–“–	24.1	56–76	Вольфрамит	–3.8	13.12	8.75
396	–“–	22.9	56–72	–“–	15.8	11.92	7.55
397	–“–	22.3	59–69	–“–	–	11.32	8.35
398	–“–	23.7	64–74	–“–	13.7	12.72	9.85
399	–“–	25.2	54–80	–“–	–	14.22	6.95
400	–“–	21.9	53–68	–“–	14.4	10.92	6.55
403	–“–	19.6	45–60	–“–	–	8.62	4.25
403-1	–“–	20.9	49–65	–“–	21.0	9.92	5.55
405	–“–	23.6	60–74	–	–	12.62	8.55
407	–“–	23.9	60–75	–	–	12.92	8.55
407-1	–“–	23.1	57–72	–	–	12.12	7.75
410	–“–	–	–	Вольфрамит	8.9	–	–
<b>Спокойнинское месторождение</b>							
451	Кварц	–	–	Вольфрамит	9.1	–	–
453	–	–	–	–	4.0	–	–
						285°C	220°C
<b>Антоновогорское месторождение</b>							
906	Кварц	13.6	30–41	Вольфрамит	–	6.18	3.17
909	–	13.4	40–51	–	–	5.96	2.97
939	–	12.9	40–49	–	3.85	5.48	2.47
941	–	13.2	39–50	–	0.70	5.78	2.77
947	–	13.9	42–62	–	–	6.48	3.47
						310°C	290°C
<b>Букукунское месторождение</b>							
947-1	Кварц	12.9	50–52	Вольфрамит	–	6.38	5.67
947-2	–	15.1	57–60	–	2.0	8.58	7.87
947-3	–	13.5	52–54	–	5.59	6.98	6.27
957	–	12.5	48–51	–	–1.76	5.98	5.27
960	–	12.4	48–50	–	–	5.88	5.17
963	–	13.3	51–54	–	5.0	6.78	6.07
967	–	14.2	54–57	–	–	7.68	6.97
970	–	12.1	47–49	–	–	5.58	4.87
979	–	14.5	55–58	–	–	7.98	7.27
986	–	14.9	57–59	–	1.0	8.38	7.67

Примечание. Прочерк – нет данных.

Note. Dash – no data.

на бинарной диаграмме (Na + K)/Ca–As указывает на их размещение в основном в поле известково-субщелочных гранитов и некоторую совмещенность с трендом вольфрамовых интрузий. Магматические образования района Спокойнинского вольфрамового месторождения размещены в поле субщелочных и щелочных гранитов и лейкогранитов и имеют четкое пространственное соответствие

тренду редкометалльных интрузий (см. рис. 3). Корреляционный анализ в кварц-вольфрамитовых рудах вольфрамовых месторождений Забайкалья выявил тесную связь вольфрама с рядом одних и тех же элементов (см. табл. 2). Установлена тесная корреляционная связь W с Ta, Nb, Hf и As. Эти данные свидетельствуют о близких составах рудоносных источников вольфрамовых месторождений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что граниты кукульбейского комплекса Антоновгорского и Букуинского вольфрамовых месторождений соответствуют гранитам ильменитовой серии, Спокойнинского – в основном гранитам магнетитовой серии. В кварц-вольфрамитовых рудах вольфрамовых месторождений Забайкалья определена тесная корреляционная связь W с Ta, Nb, Hf и As, свидетельствующая о близких составах рудоносных источников вольфрамовых месторождений. Для Барун-Шивеинского, Антоновгорского и Букуинского месторождений рассчитанный изотопный состав кислорода во флюиде в равновесии с кварцем продуктивного этапа свидетельствует о магматических источниках оруденения. Приведенные данные по Восточному Забайкалью можно использовать в качестве поисковых признаков вольфрамовых месторождений. Пространственно такие месторождения тяготеют к магматическим образованиям кукульбейского комплекса, расположенным на некотором удалении от шовной зоны Монголо-Охотской сутуры. Выявлено, что рудоносные гранитоиды кукульбейского комплекса отвечают гранитам S-типа ильменитовой серии и характеризуются значительной степенью дифференциации магматических расплавов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бергер В.И. (1978) Сурьмяные месторождения. Л.: Недра, 286 с.
- Бородин Л.С. (2004) Модельная система петрохимических и металлогенических трендов гранитоидов как система прогноза месторождений Sn, Li, Ta, W, Mo, Cu. *Геология рудн. месторождений*, **46**(1), 1-26.
- Борщевский Ю.А., Апельцин Ф.Р., Борисова С.Л., Гетманская Т.И., Чернов В.С. (1980) Изотопный состав кислорода вольфрамитов из вольфрамовых месторождений различных формационных и генетических типов. *Записки ВМО*, (6), 633-643.
- Валуй Г.А., Моисеенко В.Г., Срижкова А.А., Москаленко Е.Ю. (2005) Генетические аспекты магнетитовых и ильменитовых гранитоидов (на примере Сихотэ-Алиня). *Докл. АН*, **405**(4), 507-510.
- Великославинский С.Д. (2003) Геохимическая типизация кислых магматических пород ведущих геодинамических обстановок. *Петрология*, **11**(4), 363-380.
- Ефремова С.В., Стафеев К.Г. (1986) Петрохимические методы исследования горных пород. Справочное пособие. М.: Недра, 511 с.
- Зорин Ю.А., Беличенко В.Г., Рутштейн И.Г., Зорина Л.Д., Спиридонов А.М. (1998) Геодинамика западной части Монголо-Охотского пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье. *Геология и геофизика*, **39**(11), 104-112.
- Козлов В.Д. (2005) Геолого-геохимическая очаговая структура и металлогения гранитных рудно-магматических систем Восточного Забайкалья. *Геология и геофизика*, **46**(5), 486-503.

- Козлов В.Д. (2011) Особенности редкоэлементного состава и генезиса гранитоидов шахтаминского и кукульбейского комплексов. *Геология и геофизика*, **52**(5), 676-689.
- Косалс Я.А., Темников Ю.И. (1983) Пегматитоносные гранитоиды Забайкалья. Новосибирск: Наука, 232 с.
- Мишин Л.Ф., Романовский Н.П. (1992) Окислительно-восстановительные обстановки формирования и металлогеническая специализация рудно-магматических систем юга Дальнего Востока. *Тихоокеан. геология*, (6), 31-42.
- Редина А.А., Мокрушников В.П., Редин Ю.О. (2019) Условия формирования и возраст редкометалльного оруденения кукульбейского рудного района Восточного Забайкалья. *Изв. Томского политехнического ун-та. Инжиниринг георесурсов*, **330**(9), 90-102.
- Руженцев С.В., Некрасов Г.Е. (2009) Тектоника Агинской зоны (Монголо-Охотский пояс). *Геотектоника*, (1), 39-58.
- Смирнов В.И. (1978) Рудные месторождения СССР. Т. 3. М.: Недра, 496 с.
- Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. (2006) Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Гео, 291 с.
- Стриха В.Е. (2005) Раннеюрские гранитоиды Чагойнского и Шимановского массивов Мамынского блока Амурского супертеррейна (Верхнее Приамурье). *Тихоокеан. геология*, **24**, 66-82.
- Сырицо Л.Ф., Баданина Е.В., Абушкевич В.С., Волкова Е.В., Терехов А.В. (2018) Продуктивность редкометалльных плюмазитовых гранитов и условия образования месторождений вольфрама. *Геология рудн. месторождений*, **60**(1), 38-56.
- Таусон Л.В. (1977) Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 279 с.

- Ishihara S. (1977) The magnetite-series and ilmenite-series granitoid rocks. *Mining Geol.*, **27**, 293-305.
- Ishihara S., Sasaki A. (1989) Sulfur isotopic ratios of the magnetite-series and ilmenite-series granitoides of the Sierra Nevada batholith – A reconnaissance study. *Geology*, **17**, 788-791.
- Matsuhisa Y., Goldsmith J.R., Clouton R.N. (1979) Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **43**, 1131-1140.
- Ridley J.R., Diamond L.W. (2000) Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models. *Gold in 2000. SEG Rev.*, **13**, 141-162.

## REFERENCES

- Berger V.I. (1978) Antimony deposits. Leningrad, Nedra Publ., 286 p. (In Russian)
- Borodin L.S. (2004) Model system of petrochemical and metallogenic trends of granitoids as a system for prognosis of Sn, Li, Ta, W, Mo, and Cu deposits. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **46**(1), 1-21. (In Russian)
- Borshchevskiy Yu.A., Apel'tsin F.R., Borisova S.L., Getmanskaya T.I., Chernov V.S. (1980) Oxygen isotopic composition of wolframites from tungsten deposits of various formational and genetic types. *Zapiski VMO*, (6), 633-643. (In Russian)
- Efremova S.V., Stafeyev K.G. (1986) Petrochemical me-

- thods for studying rocks. Reference manual. Moscow, Nedra Publ., 511 p. (In Russian)
- Ishihara S. (1977) The magnetite-series and ilmenite-series granitoid rocks. *Mining Geol.*, **27**, 293-305.
- Ishihara S., Sasaki A. (1989) Sulfur isotopic ratios of the magnetic-series and ilmenite-series granitoides of the Sierra Nevada batholith – A reconnaissance study. *Geology*, **17**, 788-791.
- Kosals Ya.A., Temnikov Yu.I. (1983) Pegmatite-bearing granitoids of Transbaikalia. Novosibirsk, Nauka Publ., 232 p. (In Russian)
- Kozlov V.D. (2005) Geologo-geochemical central structure and metallogeny of granite ore-magmatic systems of Eastern Transbaikalia. *Geol. Geofiz.*, **46**(5), 486-503. (In Russian)
- Kozlov V.D. (2011) Features of the rare-element composition and genesis of granitoids of the Shakhtinsky and Kukulbeyevsky complexes. *Geol. Geofiz.*, **52**(5), 676-689. (In Russian)
- Matsuhisa Y., Goldsmith J.R., Clouton R.N. (1979) Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **43**, 1131-1140.
- Mishin L.F., Romanovsky N.P. (1992) Redox conditions of formation and metallogenic specialization of ore-magmatic systems of the South of the Far East. *Tikhookean. Geol.*, (6), 31-42. (In Russian)
- Redina A.A., Mokrushnikov V.P., Redin Yu.O. (2019) Conditions of formation and age of rare-metal mineralization in the Kukulbeya ore region of Eastern Transbaikalia. *Izv. Tomskogo politekhnicheskogo in-ta. Inzhiniring georesursov*, **330**(9), 90-102. (In Russian)
- Ridley J.R., Diamond L.W. (2000) Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models. *Gold in 2000. SEG Rev.*, **13**, 141-162.
- Ruzhentsev S.V., Nekrasov G.E. (2009) Tectonics of the Agin zone (Mongol-Okhotsk belt). *Geotektonika*, **43**(1), 34-50. (In Russian)
- Smirnov V.I. (1978) Ore deposits of the USSR. V. 3. Moscow, Nedra Publ., 496 p. (In Russian)
- Spiridonov A.M., Zorina L.D., Kitaev N.A. (2006) Gold-bearing ore-magmatic systems of Transbaikalia. Novosibirsk, Geo Publ., 291 p. (In Russian)
- Strikha V.E. (2005) Early Jurassic granitoids of the Chagoyansky and Shimanovsky massifs of the Mamynsky blocks of the Amur superterrane (Upper Amur region). *Tikhookean. Geol.*, (24), 66-82. (In Russian)
- Syratso L.F., Badanina E.V., Abushkevich V.S., Volkova E.V., Terekhov A.V. (2018) Productivity of rare-metal plumasite granites and conditions for the formation of tungsten deposits. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **60**(1), 38-56. (In Russian)
- Tauson L.V. (1977) Geochemical types and potential ore content of granitoids. Moscow, Nedra Publ., 279 p. (In Russian)
- Valui G.A., Moiseenko V.G., Strizhkova A.A., Moskalenko E.Yu. (2005) Genetic aspects of formation magnetite and ilmenite granitoids (on the example of the Sikhotealin). *Dokl. Akad. Nauk*, **405**(4), 507-510. (In Russian)
- Velikoslavinskii S.D. (2003) Geochemical classification of silicicigneous rocks of major geodynamig environments. *Petrology*, **11**(4), 327-342. (In Russian)
- Zorin Yu.A., Belichenko V.G., Rutshtein I.G., Zorina L.D., Spiridonov A.M. (1998) Geodynamics of the western part of the Mongol-Okhotsk belt and the tectonic position of the ore manifestations of gold in Transbaikalia. *Geol. Geofiz.*, **39**(11), 104-112. (In Russian)