

Востока России // Геология рудных месторождений. – 2005. – Т. 47, №3. – С. 211–229.

3. Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Дора-Пильское рудное поле: строение, минералогия и геохимия среды рудообразования // Руды и металлы. – 2012. – № 5. – С. 7–21.

4. Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Золото-кварцевое месторождение Сана, Тарынский рудный узел // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 12. – С. 3–7.

5. Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Золото-кварцевая и сурьмяная минерализация месторождения Малтан (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. – 2014. – Т. 33, № 4. – С. 50–62.

6. Горячев Н.А. Жильный кварц золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992. – 135 с.

7. Кузнецов В.М., Горячев Н.А., Жигалов С.В., Савва Н.Е. Структура и рудоносность Маякит-Хурчанского рудно-россыпного узла // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2011. – № 4. – С. 37–51.

8. Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В. и др. Золото-сурьмяные месторождения Сарылах и Сентачан (Якутия): флюидный режим, стабильные изотопы (О, С, S) и условия формирования // Геология рудных месторождений. – 2010. – Т. 52, № 5. – С. 381–417.

9. Гамянин Г.Н., Жданов Ю.Я., Некрасов И.Я., Лескова Н.В. «Горчичное» золото из золото-сурьмяных руд Восточной Якутии // Новые данные о минералах. – 1987. – № 34. – С. 13–20.

10. Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Термобарогеохимия. – М.: Академический Проспект, 2008. – 222 с.

11. Борисенко А.С. Изучение солевого состава газозо-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1977. – №8. – С. 16–27.

12. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. – М.: Мир, 1978. – Т. 1. – 360 с.; Т. 2. – 632 с.

Поступила в редакцию 22.11.2014

УДК 553.411, 551.24

## О геологической истории и генезисе образования золото-урановых месторождений Эльконского рудного поля

Е.Е. Лоскутов, В.И. Жижин

*Предложена гипотеза генезиса золото-урановых месторождений Эльконского рудного узла на основании изучения реликтов древнего зеленокаменного пояса среди метаморфических толщ – медведевского ультрабазит-базитового и каменковского гранитоидного комплексов в ассоциации с мезозойским щелочным магматизмом. Основой для статьи являются материалы геолого-геохимических наблюдений, включающие изучение редкоземельного состава и распределения спектров редкоземельных элементов их концентрации в амфиболитах, урана и золота во вмещающих породах. Проведен анализ и сопоставление этапов мезозойского магматизма и последовательности минералообразования в метасоматических рудоносных жилах.*

Ключевые слова: геохимия, генезис, Эльконский рудный узел, амфиболиты, редкие и редкоземельные элементы, медведевский плутонический комплекс.

*The hypothesis of the genesis of gold-uranium deposits of the Elkon ore unit, based on the study of ancient greenstone belt relics among metamorphic sequences – Medvedev's ultrabasic-basic and kamenkovsky granitoid complexes in association with Mesozoic alkaline magmatism. The materials of geological and geochemical observations, including the study of trace element composition and distribution of the spectra of rare earth elements, their concentration in the amphibolites, uranium and gold in the host rocks. The analysis and comparison of the stages of the Mesozoic magmatism and mineralization in the sequence of metasomatic ore-bearing veins are carried out.*

Key words: geochemistry, genesis, Elkon ore unit, amphibolite, rare and rare-earth elements, Medvedev's plutonic complex.

ЛОСКУТОВ Евгений Евгеньевич – ст. преподаватель Северо-Восточного федерального университета, brannerit@mail.ru; ЖИЖИН Владимир Иванович – д.г.-м.н., проф., зав. лаб. Института мерзлотоведения СО РАН, viz956@rambler.ru.

Месторождения Эльконского рудного узла (ЭРУ) расположены в северной части Алданского щита – наиболее крупного выступа древнего складчатого фундамента Сибирского кратона. Руды ЭРУ парагенетически связаны с Центрально-Алданским центром мезозойской тектоно-магматической активизации (ТМА). По форме и составу тел мезозойские магматические образования представлены в виде многочисленных даек, а также малых секущих, послонных и лакколитообразных интрузий порфировых щелочных пород, вскрытых в западной части Эльконского горста. Они принадлежат к группе гипабиссальных массивов, в которых вскрыты преимущественно порфировые щелочные породы калиевого ряда. По минералогическому составу эти породы соответствуют лейцит-щелочно-сиенитовой магматической формации [1].

В докембрийских провинциях мира месторождения золота связаны с ультрабазит-базитовыми комплексами зеленокаменных поясов, образование которых сопровождалось неоднократными метаморфическими и метасоматическими преобразованиями вмещающих массивов пород.

О том, что в пределах ЭРУ сохранились фрагменты зеленокаменных поясов, свидетельствуют такие факты, что в разрезах, наряду с присутствием линзовидных тел амфиболитов, распространены гиперстеновые высокожелезистые граниты (чарнокиты), прослои железистых кварцитов и насыщенные магнетитом кристаллические сланцы. В составе метаморфических толщ федоровской серии имеются реликты зеленокаменных поясов, представленные субсогласно залегающими линзовидными телами медведевского плутонического комплекса.

С породами медведевского комплекса, за пределами Эльконского рудного узла, в юго-западной части Алдано-Тимптонского геоблока связано среднее по запасам месторождение золота им. П. Пинигина. Промышленная золотоносность в нем обусловлена метаморфизованными базитами и ультрабазитами. Во многих других кратонах мира гидротермальные месторождения золота и урана расположены в зонах разломов и вблизи с базит-гипербазитовыми комплексами с повышенным кларком золота [2].

Породы медведевского комплекса относятся к ортопородам и с учетом химического состава они классифицированы как магматические горные породы [3].

Результаты химического анализа пород медведевского плутонического комплекса из Эль-

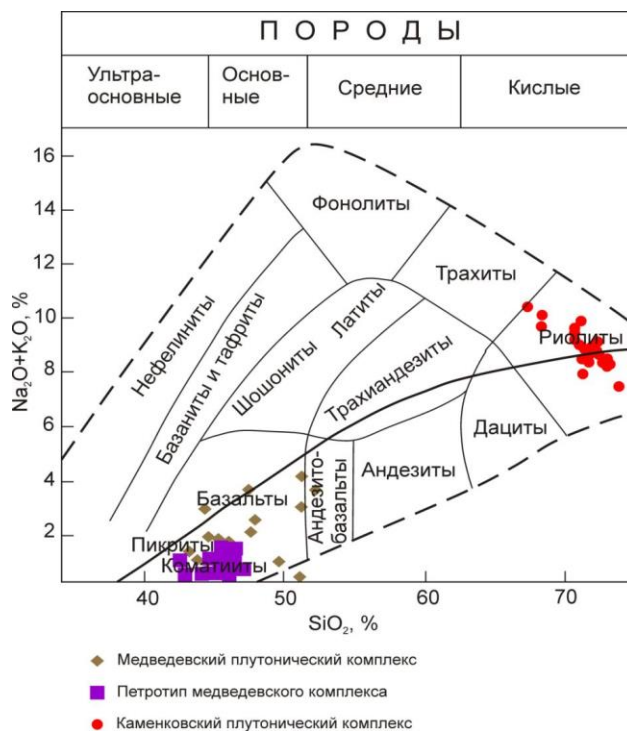


Рис. 1. Положение точек составов пород медведевского и каменковского комплексов на диаграмме  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$  по [4]

конского горста нанесены на общую классификационную диаграмму для магматических горных пород. На диаграмме видно, что представленные породы медведевского комплекса по своему химическому составу относятся к породам коматиитового состава (рис.1).

Образцы для химического исследования пород медведевского комплекса отбирались при изучении контрольно-стволовых и разведочных скважин. Было отобрано и проанализировано на силикатный состав и на определение микроэлементов методом атомно-эмиссионной спектроскопией 50 образцов.

По минеральному составу все отобранные породы медведевского комплекса были разделены на амфиболиты и эпидотизированные амфиболиты. Последние отобраны непосредственно вблизи окolorудных интервалов. Результаты определения содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) представлены в табл. 1–3 и на рис. 2.

График распределения РЗЭ в амфиболитах имеет плавный отрицательный наклон и в общем отвечает уровню океанических базальтов обогащенного типа (мантийный источник). Для амфиболитов обеих групп характерны повышенные значения легких (цериевая группа) и промежуточных (тербиевая группа) элементов, но не превышающие 10-кратных хондритовых норм. Отчетливо прослеживается характерное для пород E-MORB поведение Pr.

Таблица 1

## Содержание редкоземельных элементов (г/т) в амфиболитах медведецкого комплекса ЭРУ

№ проб	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
3–93,5 (B)	19,98	29,37	16,98	20,37	3,23	1,49	4,04	3,10	0,82	1,21	3,60	0,35
3–338	75,88	124,00	20,30	55,13	6,19	2,06	3,24	5,26	1,14	1,08	4,93	0,38
2070–323	20,57	31,24	17,55	19,42	3,00	1,53	4,03	2,88	0,68	1,08	3,96	0,36
2215–30	53,31	115,40	20,36	74,02	11,38	2,63	5,77	6,17	1,32	1,79	5,37	0,36

Таблица 2

## Содержание редкоземельных элементов (г/т) в околорудных эпидотизированных амфиболитах

№ проб	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
2011–809,5	77,32	97,09	31,02	48,26	3,456	3,305	5,018	2,87	0,548	1,02	3,39	0,331
2077–353	17,42	32,7	27,85	21,18	0,63	2,288	3,136	3,325	0,966	0,923	6,543	0,714
2077–354,6	23,56	49	36,73	27,35	-	1,746	3,637	4,035	0,794	0,723	4,971	0,586
2077–670	52,32	87,81	14,7	55,38	9,853	2,179	5,119	5,552	0,859	1,55	3,76	0,22

Таблица 3

## Содержание редкоземельных элементов (г/т) в метабазитах медведецкого комплекса в петротипической местности [4]

№ проб	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Ho	Er	Yb	Lu
4/03	17,3	44,9	23,8	5,67	1,82	5,38	1,02	2,77	2,95	0,4
5/03	36,1	88,1	34,3	6,64	1,91	5,6	0,98	2,63	2,57	0,35
1729	7,5	22,6	13,3	3,53	1,15	3,01	0,45	1,19	1,01	0,12
3716	7,66	19,9	13,4	3,95	0,95	4,36	0,8	2,19	1,91	0,25
3719/1	10,7	23,1	15,5	4,62	1,06	4,89	0,96	2,84	2,44	0,33
3719/2	9,66	22	14,6	4,1	0,9	4,26	0,74	2,04	1,85	0,29
3963	11,4	24,42	18,1	5,15	1,25	5,46	1,08	2,88	2,87	0,37
3964	10,8	24,2	17	4,18	1,12	4,67	0,77	2,04	1,82	0,27
3964/2	18	35,4	28,8	6,95	1,83	7,71	1,24	3,32	2,96	0,5

На графике преобладает наличие положительных аномалий Eu или без аномалии (рис. 2,б). По всем породам наблюдается отрицательный наклон спектров распределения РЗЭ, что обусловлено значительным обеднением тяжелыми РЗЭ относительно пород E-MORB из-за наложения процессов гранитизации в раннем протерозое, а также продолжительностью метасоматоза в мезозойский этап ТМА [5].

Таким образом, по геолого-структурному положению, петрохимическим (рис. 1) и геохимическим параметрам (рис. 2,а, б) амфиболиты сопоставимы с породами медведецкого комплекса [4] и являются их аналогами в пределах ЭРУ.

Согласно современным исследованиям и публикациям предыдущих лет, основное количество урана в интрузивных породах мезозойского этапа ТМА находится в рассеянной форме [6, 7]. Тысячные доли процента содержания урана установлены в акцессориях: магнетите, гранате, апатите и сфене. Наибольшей радиоактивностью в породах алданского комплекса обладают микроскопические акцессорные выделения торита, ураноторита, содержащих уран от сотых долей до первых процентов, и лопарита в эгирин-полевошпатовых жилах (сотые доли процента урана) [6].



Рис. 2. Распределение редкоземельных элементов в амфиболитах медведецкого комплекса ЭРУ, нормализованных на хондрит по Sun S.S., McDonough W.F. (1989). (923x579)

Низкое содержание урана в интрузивных и эффузивных породах мезозойского возраста, а также пространственная отдаленность метасоматических зон минерализации от центра проявления магматизма дают основание предполагать, что главным источником урана в метасоматических жилах ЭРУ служили вмещающие метаморфические массивы пород.

Для метаморфических образований Центрального Алдана характерны в целом незначительные содержания радиоактивных элементов [6]. По этому признаку они хорошо сопоставимы со средними их значениями для близких по составу пород метаморфических толщ других регионов Алданского щита.

Наиболее высокие концентрации урана и тория определены в различных типах гранитоидов, наименьшие отмечаются в слабо гранитизированных разностях гнейсов и кристаллических сланцев. Среди всех гранитоидных комплексов ЭРУ аномально высокие концентрации урана содержатся в аляскитовых гранитах каменковского плутонического комплекса (в среднем 5,2 г/т). Вследствие широко проявленных процессов гранитизации все метаморфические породы района имеют высокое содержание легкорастворимого (подвижного) урана до 40%. Обычно это 1,2–2,2 г/т.

Результаты силикатных химических анализов пород каменковского комплекса нанесены на общую классификационную диаграмму для магматических горных пород (рис.1). На этой диаграмме видно, что фигуративные точки, представляющие граниты комплекса по совокупности химического состава, относятся к кислым породам.

Гранитные комплексы, расположенные в пределах ЭРУ, по генезису являются палингенными. Метаморфические породы, подверженные палингенезу, сопровождалась активной мобилизацией рассеянного U и переводом его в подвижную (химически активную) форму. По результатам исследований предшественников широко проявленные процессы протерозойской гранитизации и прогрессивного метаморфизма содействовали перераспределению рассеянного (около 40%) U в подвижную форму.

На основании анализа имеющейся фактической информации, полученной как автором работы, так и по фондовым и опубликованным сведениям, сделан вывод о том, что процессы раннепротерозойской ТМА сопровождалась повышением концентрации урана в продуктах процессов гранитизации по сравнению с более ранними породами архейского стратифицированного комплекса. При этом по данным А.В.

Терехова [2], наиболее обогащенными ураном являются самые поздние лейкократовые аляскитовые породы, образованные в процессе гранитизации каменковского комплекса (до 5,2 г/т).

Таким образом, в связи с процессами неоднократной метаморфической, магматической (флюидной и гидротермальной) активизации, происходившими в докембрийское время, отмечается увеличение концентрации урана в продуктах гранитизации. Наибольшее количество радиоактивных минералов содержится в самых поздних лейкократовых гранитоидах – аляскитах.

Анализ изложенного материала геохимической характеристики гранитных комплексов, участвующих в строении ЭРУ, позволил авторам сделать вывод, что первичным поставщиком урановых компонентов в золото-урановые руды служили раннепротерозойские граниты, выделенные в каменковский плутонический комплекс. В этих гранитах и в настоящее время содержатся наиболее высокие концентрации урана, которые в разы больше, чем в других вмещающих гидротермально-метасоматитовые жилы породах. Концентрации легкоподвижного урана в лейкократовых гранитах имеют повышенную радиоактивность по гамма-полю.

Для образования в рудоносных телах титаната урана – браннерита необходим титан, который, по нашим представлениям, извлекался в процессе метасоматоза параллельно с золотом из пород ультрабазит-базитового ряда (медведевский плутонический комплекс) и перераспределялся, взаимодействуя с ураном (из каменковских гранитоидов) в гидротермально-метасоматических жильных зонах.

Согласуются с выводами о времени продуктивного метасоматоза данные абсолютных радиологических датировок возраста руд Эльконских месторождений. По разным авторам период формирования руд варьирует от 180 до 125 млн. лет, что совпадает со временем проявления мезозойских фаз ТМА (поздняя юра – ранний мел) [1].

Анализ сопоставления (рис. 3) радиологических определений периода внедрения щелочных мезозойских магматических фаз и образование минералов в рудных зонах свидетельствуют о том, что практически все обозначенные выше магматические стадии мезозойской ТМА были продуктивными и продуцировали образование метасоматических золото-урановых руд. В рудных зонах гидротермально-метасоматического генезиса прослеживается очень сложная минеральная зональность и стадийность (до 11 стадий минералообразования), что даже больше, чем выделено этапов тектоно-магматической активизации в мезозое. Это также согласуется с дли-

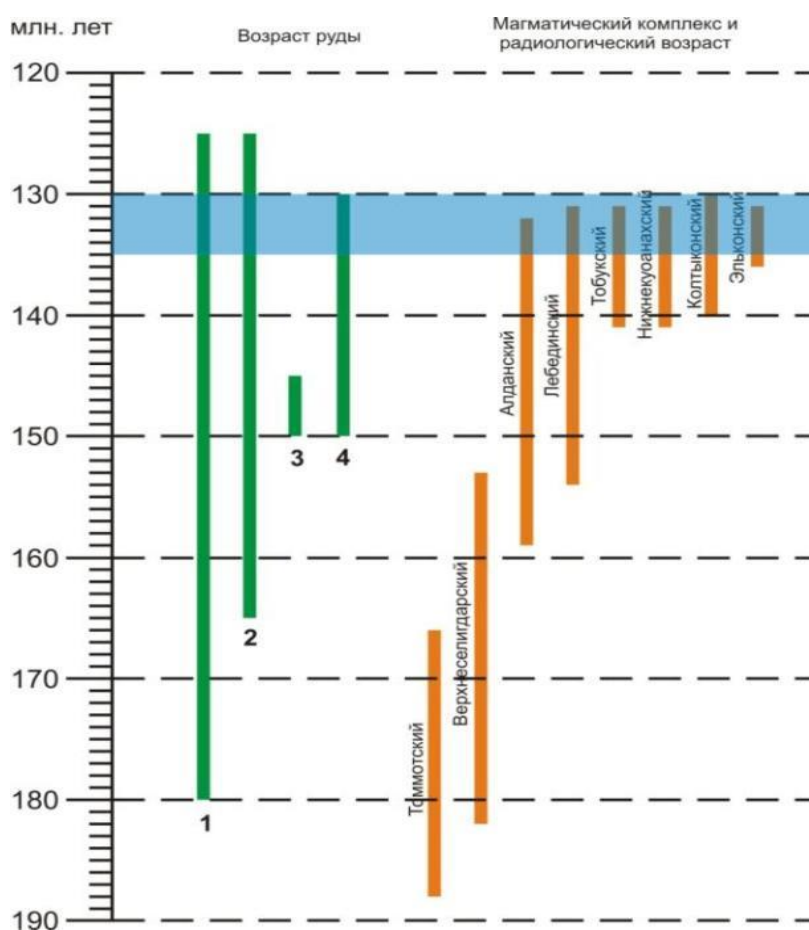


Рис. 3. Сопоставление данных радиологического возраста руд ЭРУ и мезозойских магматических щелочных комплексов. Цифрами показаны возрасты руды по данным: 1 – Горошко М.В.; 2 – Тугаринов А.И.; 3 – Утробин Д.В. и Воробьев К.А.; 4 – Пилипенко Г.Н. Синим полем показан возраст браннерита по данным Мигута А.К.

тельностью процессов образования гидротермально-метасоматических жил и сопряженных с ними руд ЭРУ. При этом наблюдаются влияние каждого этапа в отдельности на содержание рудных концентраций и общая минеральная зональность рудоносных зон. Возраст браннерита по Pb методом составляет 135–130 млн. лет [8], что совпадает по времени с периодом самой активной стадии мезозойской ТМА на ее завершении.

По данным некоторых авторов [3], возраст руды ограничен датировками в 145–150 млн. лет, по нашему мнению, данный возраст был установлен для одной из отдельных рудных зон и не характеризует времени образования рудных тел всего рудного узла.

Таким образом, практически безусловное совпадение магматической деятельности в мезозое с возрастом начала формирования оруденения не противоречит выводу о генетической связи образования эльконита (золотосодержа-

щего пирита) и браннерита (титаната урана) с влиянием флюидов и гидротерм, обусловленных мезозойским щелочным магматизмом.

Отсутствие в самих щелочных магматических породах концентраций рудных элементов (золота, урана, титана) подтверждает, что их поступление в рудные зоны обусловлено переносом из иных источников. По мнению авторов, повышенные концентрации урана поступали из лейкократовых гранитов каменковского комплекса раннепротерозойского возраста, а золото, титан и железо – из ультрабазит-базитовых тел, ныне выделенных в медведевский (кумкыстахский) комплекс позднеархейского возраста [9].

Определенные комплексы пород, слагающих территорию ЭРУ, еще до мезозойской магматической активизации, содержали повышенные концентрации урана, титана, железа и золота. Флюидные и гидротермальные растворы химически активно взаимодействовали с ранее существовавшими вмещающими породами, извлекали из них рудные компоненты золота, урана и титана, перемещая и отлагая их уже в новых минеральных видах по зонам геохимической разгрузки (последние обусловлены каналами транспортировки и условиями температуры и давления).

По генезису месторождения ЭРУ являются регенерационными. Наличие совокупности архейских ультрабазит-базитовых, раннепротерозойских кислых (аляскитовых) вмещающих образований и внедрение в них мезозойских щелочных магматических тел, а также каналов их транспортировки (зон трещиноватости в периодически обновляемых разломах) является поисковым критерием. Этот вывод имеет практическое значение для оценки и обнаружения новых перспективных площадей с подобными золото-урановыми рудами эльконского типа.

#### Литература

1. Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Солодов Н.А. Месторождения благородных, радиоактивных и редких металлов. – М.: НИИ-ПРИРОДА, 1999. – 219 с.
2. Терехов А.В. Рудоносность гидротермально-метасоматических образований Эльконского золото-урановорудного узла (Южная Якутия). – СПб.: ФГУП «ВСЕГЕИ», 2012.



3. Мякишев А.И., Кислый А.И. Отчет Эльконской партии о результатах геологического доизучения масштаба 1:50 000, проведенного в 1994–1999 гг. на территории Эльконского горста. Листы О-51-48-Г, О-52-37-В, О-51-60-А,Б, О-52-49-Г.» ГП «Алдангеология», 1999.

4. Кравченко А.А., Смелов А.П., Березкин В.И., Попов Н.В. Геология и генезис докембрийских золотоносных метабазитов центральной части Алдано-Станового щита (на примере месторождения им. П. Пинигина). – Якутск: ИГАБМ СО РАН, 2010.

5. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976.

6. Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Кириллов В.Е. Металлогения урана Дальнего Востока России. – М.: Наука, 2006.

7. Титов В.К., Давыдова Л.И. О распределении урана в минералах щелочных пород алданского вулканогенно-интрузивного комплекса // Материалы о содержании и распределении радиоактивных элементов в горных породах. – Л., 1972. – С.87–97.

8. Мизута А.К. Урановые месторождения Эльконского рудного района на Алданском щите // Геология рудных месторождений. – 2001. – № 2. – С. 73–79.

9. Жижин В.И., Бирюлькин Г.В., Никитин В.М. Докембрийские ультрабазит-базитовые формации Алданского щита. – М.: Недра, 2000. – 96 с.

Поступила в редакцию 25.11.2014

УДК 622.45: 536.244

## Прогноз теплового режима проектируемой россыпной шахты «Солур»

А.С. Курилко, Ю.А. Хохолов, Д.Е. Соловьев, М.В. Тишков

*Круглогодичная подземная разработка россыпных месторождений в районах распространения многолетнемерзлых пород имеет ряд специфических особенностей, связанных, прежде всего, с необходимостью обеспечения устойчивости горных выработок в теплое время года и нормализации параметров шахтной атмосферы в зимний период. Для условий проектируемой россыпной шахты «Солур» были проведены прогнозные расчеты (методом математического моделирования) температурного режима в воздухоподающих и очистных выработках, а также вмещающем их массиве горных пород. Определены оптимальные сроки консервации шахты на летний период. Показана роль тепловыделений от самоходного горного оборудования на формирование температурного режима в очистных выработках и окружающем массиве горных пород.*

Ключевые слова: криолитозона, россыпная шахта, многолетнемерзлые породы, температурный режим.

*Perennial underground mining of placer deposits in the regions of permafrost distribution has a number of specific features, which primarily are related to necessity of providing workings stability in the warm season and mine atmosphere parameters normalization in winter. Prognosis estimation of air delivery permanent workings and stopes temperature condition, as well as rock mass holding it, were held (by means of mathematical modeling method) for projected placer mine "Solur" conditions. Optimal terms for mine conservation in summer are determined. Self-propelling mining equipment heat release value for forming temperature in working stopes and surrounding rock mass is shown.*

Key words: cryolithic zone, placer mine, permafrost rocks, temperature regime.

### Введение

Как известно, состояние и уровень социально-экономического развития РФ (в том числе в

Республике Саха (Якутия)) во многом определяются масштабами и эффективностью освоения ее природных и, прежде всего, минеральных ресурсов, включая золото- и алмазосодержащие месторождения, находящиеся в северных регионах страны.

В настоящее время определенный интерес АК «АЛРОСА» проявляет к освоению глубоко погребенных россыпных месторождений, разработку которых предполагается вести подземным способом, в частности, Солур-Восточная, которое наряду с значительными запасами характеризуется рядом специфических особенностей, во многом осложняющих его подземную отработку.

КУРИЛКО Александр Сардокович – д.т.н., зав. лаб. Института горного дела Севера СО РАН, a.s.kurilko@igds.ysn.ru; ХОХОЛОВ Юрий Аркадьевич – д.т.н., в.н.с. Института горного дела Севера СО РАН, khokholov@igds.ysn.ru; СОЛОВЬЕВ Дмитрий Егорович – к.т.н., с.н.с. Института горного дела Севера СО РАН, solovjevde@igds.ysn.ru; ТИШКОВ Максим Вячеславович – к.т.н., зав. лаб. института «Якутнипроалмаз», TishkovMV@alrosa.ru.