



## ТОПОМИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ ЭНДОГЕННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, РЕДКИХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕНТРАЛЬНО-АЛДАНСКОЙ МАГМАТОГЕННОЙ СИСТЕМЫ (АЛДАНСКИЙ ЩИТ, РОССИЯ)

А. В. Округин<sup>1</sup>, А. И. Журавлев<sup>1</sup>, Г. В. Мохначевский<sup>1</sup>, К. З. Ибрагимов<sup>2</sup>

Рассматриваются минералы благородных металлов, редких и радиоактивных элементов, часто образующие комплексные ассоциации в россыпях Центрально-Алданского района. Предполагается существование парагенетической связи между данными минералами, связанными с единой мантийно-рудно-магматогенной системой, которая образует металлогенические ареалы (Au-Pt-U оруденение) и магматические серии различных субщелочных и щелочных пород.

**Ключевые слова:** золото, платина, минералы редких и радиоактивных минералов, рудно-магматические системы.

## TOPOMINERALOGICAL PROJECTION OF THE PRECIOUS METALS, RARE AND RADIOACTIVE ELEMENTS ENDOGENETIC MINERALIZATION IN THE CENTRAL ALDAN MAGMATOGENE SYSTEM (ALDAN SHIELD, RUSSIA)

A. V. Okrugin, A. I. Zhuravlev, G. V. Mokhnachevsky, K. Z. Ibragimov

The article considers minerals of precious metals, rare and radioactive elements, frequently forming complex associations in placers of the Central-Aldan region. It is assumed that there is a paragenetic relation between these minerals, connected with single mantle ore-magmatogene system creating metallogenic areas (Au-Pt-U mineralization) and magmatic series of various subalkaline and alkaline rocks.

**Keywords:** gold, platinum, rare and radioactive minerals, ore-magmatic system.

Центрально-Алданский рудный район (ЦАРР) рассматривается как целостная мезозойская сверхкрупная рудообразующая магматогенная система с весьма значительными ресурсами золотоурановых руд [6]. Если уникальные золоторудные месторождения здесь достаточно хорошо изучены и общеизвестны, то проявления минералов платиновой группы (МПГ), редких и радиоактивных элементов (МРРА) пока остаются слабо исследованными объектами. В связи с предстоящим освоением месторождений Эльконского золотоурановорудного узла вопрос о комплексном подходе к исследованию процессов формирования месторождений благородных, редких и радиоактивных элементов приобретает в этом районе особую актуальность.

На территории ЦАРР, кроме известной платиновой россыпи Инаглинского массива, установлена попутная платиноносность ряда золотоносных россыпей рр. Селигдар, Бол. Куранах, Якобит, Лев. Нимгеркан, Томмот, Ыллымах, Тимптон и их притоков [12, 13 и др.]. В последние годы в процессе производственно-испытательных работ ООО «Орион-Север» в аллювиальных отложениях Макылганского переката по р. Алдан (рис. 1) определены весовые концентрации комплекса благородных металлов и других рудных минералов редких и радиоактивных элементов, которые мо-

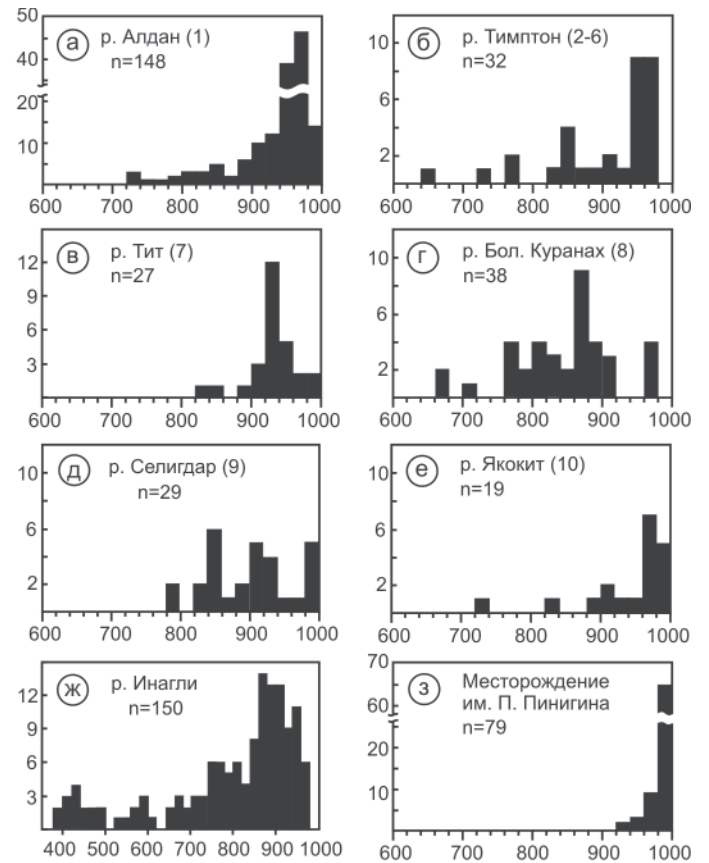
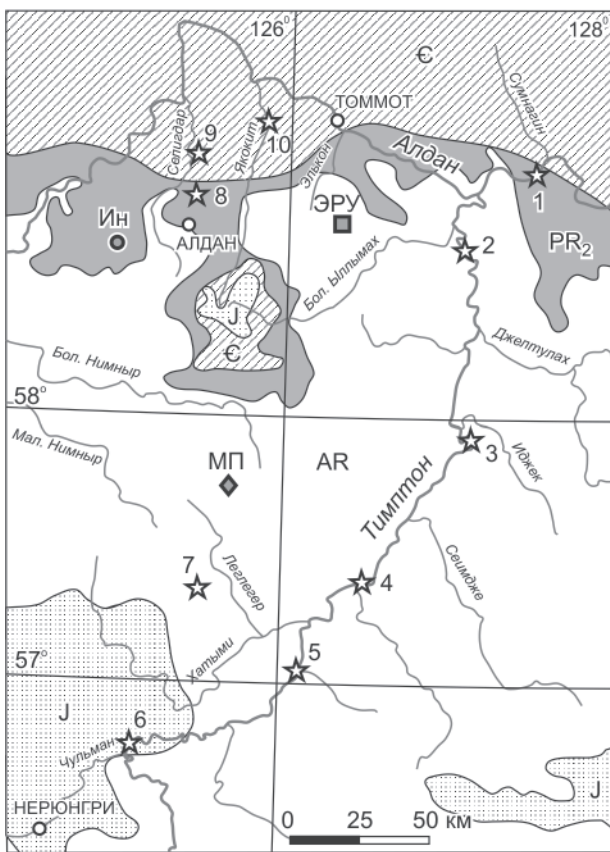
гут служить индикаторами рудоносных объектов в данном районе. В настоящей статье на основе сравнительного анализа типоморфных особенностей самородного золота, МПГ, МРРА и сопутствующих им минералов-спутников из Макылганского россыпепроявления с подобными минералами из других россыпных и рудных месторождений бассейна среднего течения р. Алдан мы рассматриваем возможные типы потенциально рудоносных коренных источников для таких комплексных благородно-редкометалльных россыпей.

Самородное золото в Макылганском россыпепроявлении представлено хорошо окатанными пластинчатыми, уплощенными и комковатыми зёрнами размером 0,1–0,5, реже до 1–2 мм (рис. 2, а). Пробность золота по микросондовым определениям 148 частиц варьирует от 720 до 990 ‰, в среднем 930 ‰. На гистограмме (см. рис. 1, а) наблюдается асимметричное распределение пробности металла с ярко выраженным пиком в области 940–980 ‰. В золоте, кроме типичного Ag, редко фиксируются примеси Cu и Hg до 0,5 %. Обнаружено также одно зерно палладистого золота, содержащее 12,98 % Pd, 0,83 % Pt, 1,26 % Ag и 5,51 % Cu.

По пробности и морфологическим особенностям золотины Макылганского проявления аналогичны таковым из россыпей р. Тимптон. Для россыпей, связанных с золоторудными месторождениями лебединского (р. Бол. Куранах) и куранахского (р. Селигдар) типов, характерно золо-

<sup>1</sup> ИГАМБ СО РАН (Якутск);

<sup>2</sup> ООО «Орион-Север» (Якутск)



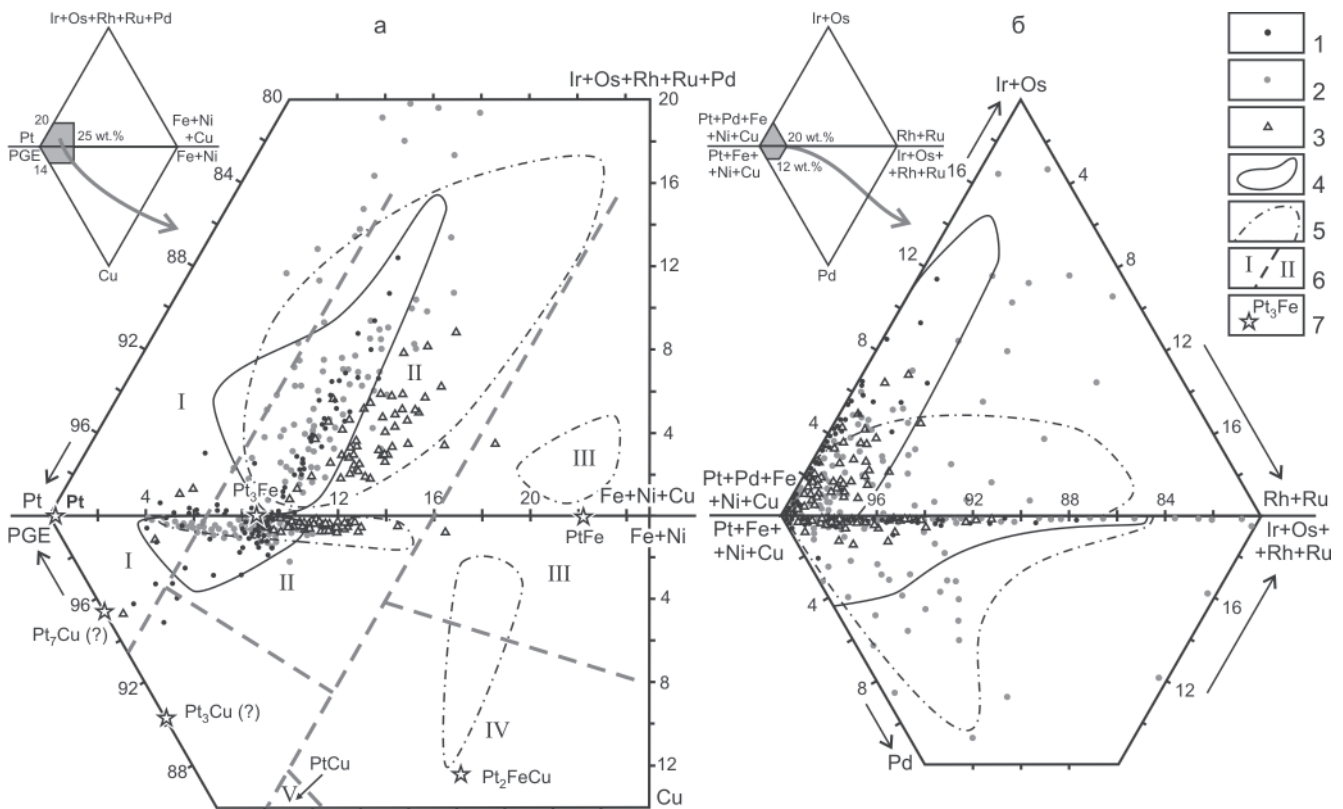
**Рис. 1.** Схема расположения изученных Pt-Au россыпных и коренных месторождений с гистограммами пробности золота. Звездочками показаны россыпепроявления: 1 – Макылганское, 2–6 – р. Тимптон; россыпи: 7 – руч. Тит, 8 – р. Бол. Куранах, 9 – р. Селигдар, 10 – р. Якоцит; коренные месторождения: Ин – Инаглинский массив с россыпью платины, МП – месторождение им. П. Пинигина с золотосодержащими сульфидными рудами, ЭРУ – Эльконский золотоурановорудный узел



**Рис. 2.** Рудные минералы из Макылганского (а–д) и Инаглинского (е) россыпей: а – самородное золото; б – железистая платина; в – сперриллит; г – черный ферберит и коричневый касситерит; д – монацит; е – ториянит

то средней (800–900 ‰) и высокой (900–950 ‰) пробы [10]. Наличие золота весьма высокой (>950 ‰) пробности фиксировалось нами в ал-

лювии р. Якоцит, а также известно в сульфидных рудах, приуроченных к докембрийским метабазитам Au-рудного месторождения им. П. Пинигина



**Рис. 3.** Тройные мультидиаграммы составов для минералов платины: а – Pt – Ir+Os+Rh+Ru+Pd – Fe+Ni+Cu и PGE – Fe+Ni – Cu; б – Pt+Pd+Fe+Ni+Cu – Ir+Os – Rh+Ru и Pt+Fe+Ni+Cu – Ir+Os+Rh+Ru – Pd

1 – Макылганское россыпепоявление р. Алдан; 2 – р. Чара; 3 – р. Селигдар; 4 – россыпь Инагли; 5 – р. Вилуй; 6 – границы, разделяющие поля самородной платины (I), железистой платины с изоферроплатиной (II), тетраферроплатины (III), туламинита (IV) и хонгшиита (V); 7 – точки стехиометрических составов платины и интерметаллидов Pt, Fe и Cu

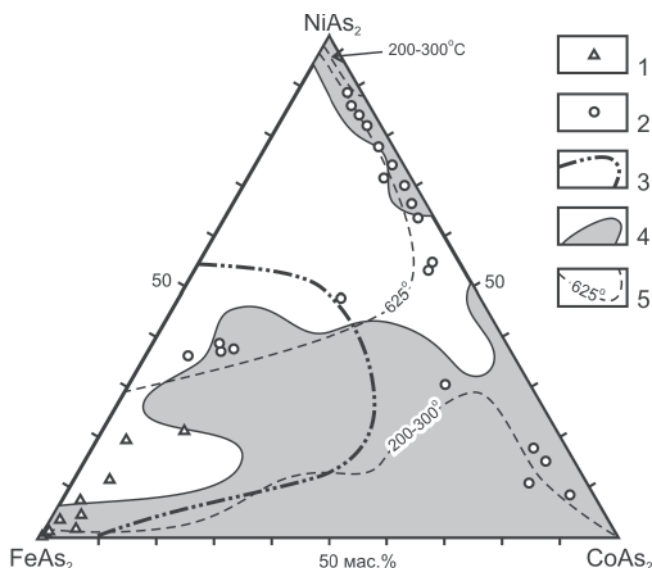
Представительные анализы платины Макылганского россыпепоявления

№ ан.	Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	Fe	Ni	Cu	Сумма
<b>Самородная платина</b>										
40	93,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	1,38	0,00	4,32	99,27
58	92,97	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	2,73	0,00	3,33	99,08
42	94,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	3,72	0,00	0,63	99,38
48	92,67	0,00	0,09	0,00	0,00	0,14	4,34	0,00	2,55	99,78
<b>Железистая платина</b>										
56	84,70	3,76	0,14	0,00	0,19	0,11	6,46	0,10	2,83	98,29
19	84,35	5,58	0,80	0,05	0,04	0,00	6,90	0,24	1,74	99,70
55	78,82	8,32	0,99	1,01	0,09	0,21	7,15	0,11	1,62	98,32
9	79,77	10,66	0,75	0,48	0,28	0,09	7,83	0,12	0,44	100,40
53	79,90	5,00	1,36	0,56	2,32	0,00	8,09	0,11	0,77	98,11
31	84,67	4,82	0,50	0,00	0,00	0,17	8,23	0,17	0,75	99,30
22	83,21	5,04	0,75	0,31	0,14	0,28	8,60	0,15	0,80	99,28
33	86,99	2,17	0,09	0,00	0,00	0,33	8,74	0,20	0,27	98,79
32	89,52	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	9,14	0,01	0,06	98,76

на [2]. Пробность золота, часто встречающегося в платиноносной россыпи Инаглинского массива, варьирует в очень широком диапазоне (от 380 до 980 ‰), основной пик – 900 ‰ (см. рис. 1, ж). Даже в пределах одной частицы часто наблюдаются микронеоднородности высокопробного золота и электрума. Электрум характеризуется повышенным содержанием примеси Hg 0,2–0,8 ‰, а среди высокопробного металла встречаются редкие зерна с примесью Hg до 1,5–3,4 ‰, хотя основное

количество золотин практически не содержит Hg. Установлены единичные знаки палладистого (Pd до 1–3 ‰) весьма высокопробного золота [10].

Минералы платиновой группы Макылганского проявления представлены в основном Fe-Pt сплавами с микровключениями иридия и осмия, а также единичными знаками сперрилита PtAs<sub>2</sub> (см. рис. 2, в) и лаурита RuS<sub>2</sub>. Fe-Pt сплавы слабают хорошо окатанные выделения пластинчатой и уплощенной форм размером обычно не более



**Рис. 4.** Состав диарсенидов Fe-Co-Ni

1 – Макылганское проявление; 2 – Ишкинское месторождение [7]; 3 – месторождения Норильского района [14]; 4 – месторождение Кобальт, Канада по [14]; 5 – изомеры сольвуса по [7]

0,5 мм (см. рис. 2, б). По данным микрозондового анализа они содержат 79–95 % Pt, 1,4–9,7 % Fe, до 10,7 % Ir и примеси других ЭПГ, Ni и Cu (см. таблицу). На диаграмме Pt – (Fe+Ni+Cu) – (Ir+Os+Rh+Ru+Pd) с развернутой Cu-системой (рис. 3, а) составы Макылганских Fe-Pt сплавов попадают в поле изоферроплатины Инаглинского массива, но в отличие от последней имеют неупорядоченную гранецентрированную решетку. Согласно классификации Fe-Pt сплавов макылганская платина относится к железистой. Некоторая часть платиновых металлов с низким количеством примесей отклоняется в сторону поля самородной платины. Они характеризуются повышенными содержаниями Cu (до 5,1 %) и приближаются к составу искусственного интерметаллида Pt<sub>7</sub>Cu с упорядоченной структурой, т.е. здесь имеется вероятность обнаружения нового минерального вида. На другой мультидиаграмме (Pt+Pd+Fe+Ni+Cu) – (Ir+Os) – (Rh+Ru) с развернутой Pd-системой (см. рис. 3, б) макылганская железистая платина также попадает в поле инаглинской изоферроплатины. Составы железистой платины из россыпей рр. Селигдар и Чара несколько отличаются более высокими содержаниями Ru, Rh, Pd, Fe, и Cu. Таким образом, можно предположить обнаружение в данном районе неустановленного коренного источника платины, близкого по геохимической специализации Инаглинскому массиву.

Лёллингит FeAs<sub>2</sub> в шлихах Макылганского проявления довольно часто встречается в виде слабоокатанных обломков зерен размером 0,1–0,5, редко до 1 мм. В минерале установлены примеси Co (до 4,2 %), Ni (до 6 %), S (до 3,4 %), которые на диаграмме составов попадают в поля диарсенидов из сульфидных руд PGE-Cu-Ni месторождений Норильского района и частично ме-

сторождения Кобальт в Канаде (рис. 4). Лёллингит из Co-Cu-колчеданных руд Ишкинского месторождения приуроченного к ультрамафитам Урала, отличается высоким содержанием Ni. Лёллингит, появляющийся на более поздней метаморфогенно-гидротермальной стадии образования золотоносных сульфидных руд месторождения им. П. Пинигина на Алданском щите [2], характеризуется низкими содержаниями Co и Ni (не более 0,п %). Образование лёллингита из Макылганского проявления с высоким содержанием примеси Ni можно объяснить его высокотемпературным генезисом.

Ферберит (FeWO<sub>4</sub>) встречается в виде единичных черных обломков зерен (см. рис. 2, г), содержащих около 78 % WO<sub>3</sub>, 19–21 % FeO, примеси MnO около 0,35 %, HfO<sub>2</sub> 0,25 % и Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,25–0,57 %. Шеелит (Ca[WO<sub>4</sub>]) представлен полупрозрачными, слабоокрашенными зернами, состоящими из 19–20 % CaO и 79–80 % WO<sub>3</sub> с примесью MoO<sub>3</sub> 0,1–1,4 %. Касситерит отмечается в виде мелких (до 1 мм) хорошо окатанных зерен буровато-красного и темно-коричневого цвета (см. рис. 2, г). В них постоянно отмечают примеси: Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,1–1,1 %, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,1–0,8 %, FeO до 0,5 %, CaO 0,8–0,9 %. Шеелит и вольфрамит в парагенезисе с касситеритом – обычные минералы высокотемпературных Sn-W грейзенов и рудных жил, связанных с кислым магматизмом.

Одним из наиболее распространенных минералов во всех россыпях является циркон с постоянной примесью HfO<sub>2</sub> около 1 %. В Макылганской россыпи, кроме того, фиксируются единичные желтовато-бурые зерна редкого минерала бадделейта (ZrO<sub>2</sub>), содержащего примеси HfO<sub>2</sub> до 1,4 % и Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> до 0,4 %. Здесь часто встречается монацит в виде мелких (до 0,5 мм) окатанных зерен, окрашенных в разные желто-коричневые тона (см. рис. 2, д). В нем определены основные компоненты (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 26–29, Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 28–35, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 9–16, 7 ThO<sub>2</sub> 3,7–17 %) и примеси (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,1–1,6, UO<sub>2</sub> 0,2–1,3, HfO<sub>2</sub> 0,2–0,8, CaO до 1–2 %). Иногда в монаците диагностируются микровключения (до первых десятков мкм) торита, состоящего из 50–59 % ThO<sub>2</sub>, 13–15 % SiO<sub>2</sub>, 3–4 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 2–4 % La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 7–10 % Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1–5 % Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 1 % UO<sub>2</sub> и до 3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Находки ураноторита, содержащего 6 % UO<sub>2</sub> и 46,6 % ThO<sub>2</sub>, были описаны также в эгирин-альбитовых зонах и миаролах пегматитов Инаглинского массива [5].

В россыпи Инаглинского массива нами изучены минералы ураноторианита, встречающегося в шлихах в виде единичных черных кубических и кубоктаэдрических кристалликов размером до 1 мм (см. рис. 2, е). Они состоят в основном из 47–70 % ThO<sub>2</sub> и 27–47 % UO<sub>2</sub>, содержат незначительные примеси Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (до 2 %), Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (до 0,6 %) и PbO (≈1 %). В рудах Эльконского горста, Куранахской впадины, Рябиновского массива, Самолазовского месторождения известны проявления урановой минерализации, представленной браннеритом,



уранинитом, настураном, ураноносными битумами и лейкоксеном [1, 6, 8].

По мнению Е. П. Максимова с соавторами [6], рудные объекты ЦАРР являются производными мантийных обогащенных К, Au и U магматических расплавов, из коровых и подкоровых очагов которых поступали разноглубинные серии щелочных и субщелочных магматитов с флюидными золотоураноносными растворами. Рябиновский массив рассматривается как рудно-магматическая система, несущая оруденение золотопорфировой формации с платиновой минерализацией [4]. Такая ассоциация пород, в которых кроме щелочных сиенитов участвуют дифференциаты мантийной щелочно-пикритовой магмы – шонкиниты [9], характерна и для Инаглинского дунит-клинопироксенит-шонкинитового зонально-кольцевого массива – источника золотоплатиновой россыпи [10].

В заключение отметим, что на юго-востоке Сибирской платформы в ультраосновных щелочных массивах центрального типа с карбонатитами широко проявлено уран-торий-редкометалльное оруденение, обусловленное развитием апатита, циркона, бадделеита, монацита, пирохлора, ортита, ураноторианита и др. в карбонатитах, метасоматитах и альбититах [3]. Подобная ассоциация благородных металлов, минералов редких и радиоактивных элементов нами изучена в алмазоносных россыпях бассейна р. Анабар на северо-востоке Сибирской платформы, где широко развиты щелочные базит-ультрабазитовые комплексы с карбонатитами [11]. Таким образом, в связи с освоением уникальных Томторской и Эльконской групп месторождений редких и радиоактивных элементов, сопровождающихся благороднометалльной минерализацией, продолжение комплексных топоминералогических исследований на данных территориях приобретает особое значение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бойцов, В. Е.** Золото и уран в мезозойских гидротермальных месторождениях Центрального Алдана (Россия) [Текст] / В. Е. Бойцов, Г. Н. Пилипенко // Геология рудных месторождений. – 1998. – № 4. – С. 354–369.
2. **Геология** и генезис докембрийских золотоносных метабазитов центральной части Алдано-Станового щита (на примере месторождения им. П. Пинигина) [Текст] / А. А. Кравченко, А. П. Смелов, В. И. Березкин, Н. В. Попов. – Якутск : РИЦ «ОФСЕТ», 2010. – 148 с.
3. **Горошко, М. В.** Уран-редкометалльное оруденение в массивах ультраосновных щелочных пород юго-востока Сибирской платформы [Текст] / М. В. Горошко, В. А. Гурьянов // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23, № 2. – С. 76–91.
4. **Кочетков, А. Я.** Рудоносность щелочных массивов Алданского щита. Рябиновское медно-золотопорфировое месторождение [Текст] / А. Я. Кочетков // Тихоокеанская геология. – 2006. – № 1. – С. 62–73.
5. **Кравченко, С. М.** О редкометалльной минерализации, связанной с нефелиновыми сиенитами щелочной провинции Центрального Алдана [Текст] / С. М. Кравченко, Е. В. Власова // Докл. АН СССР. – 1959. – Т. 128, № 5. – С. 1046–1049.
6. **Максимов, Е. П.** Центральнo-Алданская золотоурановорудная магматогенная система (Алдано-Становой щит, Россия) [Текст] / Е. П. Максимов, В. И. Уютов, В. М. Никитин // Тихоокеанская геология. – 2010. – № 2. – С. 3–26.
7. **Мелекесцева, И. Ю.** Сульфoарсениды и арсениды кобальта, железа и никеля в рудах Ишкинского кобальто-медно-колчеданного месторождения (Южный Урал) [Текст] / И. Ю. Мелекесцева, В. В. Зайков, С. Г. Тесалина // Зап. ВМО. – 2003. – № 5. – С. 66–77.
8. **Мигута, А. К.** Состав и парагенетические минеральные ассоциации урановых руд Эльконского района (Алданский щит, Россия) [Текст] / А. К. Мигута // Геология рудных месторождений. – 1997. – № 4. – С. 323–343.
9. **Округин, А. В.** Кристаллизационно-ликвационная модель формирования платиноидно-хромититовых руд в мафит-ультрамафитовых комплексах [Текст] / А. В. Округин // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23, № 2. – С. 63–75.
10. **Округин, А. В.** Минералого-геохимические и морфологические особенности россыпного золота юго-восточной части Сибирской платформы [Текст] / А. В. Округин, А. И. Журавлев, Г. В. Мохначевский // Отечественная геология. – 2013. – № 5. – С. 19–27.
11. **Округин, А. В.** Минералы редких и радиоактивных элементов в комплексных золотоплатиноалмазоносных россыпях бассейна р. Анабар [Текст] / А. В. Округин, А. Л. Земнухов, П. О. Иванов // Наука и образование. – Якутск, 2014. – № 1.
12. **Округин, А. В.** Топоминералогия платиноидов из россыпей восточной части Сибирской платформы [Текст] / А. В. Округин, А. А. Ким // Редкие самородные металлы и интерметаллиды коренных и россыпных месторождений Якутии. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1992. – С. 77–102.
13. **Россыпная** платиноносность Центральнo-Алданской металлогенической области [Текст] / Л. В. Разин, В. С. Васюков, Э. Д. Избеков, Е. П. Миронов // Платина России. – М. : Геоинформарк, 1994. – С. 159–165.
14. **Сульфидные** медно-никелевые руды норильских месторождений [Текст] / А. В. Генкин, В. В. Дистлер, Г. Д. Гладышев [и др.]. – М. : Наука, 1981. – 234 с.