

## БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОРОДАХ САРМИНСКОЙ СЕРИИ: ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ЭЛЕМЕНТНЫЕ АССОЦИАЦИИ

© 2021 г. Ю. В. Данилова<sup>a</sup>, \*, И. Е. Васильева<sup>b</sup>, \*\*, Е. В. Шабанова<sup>b</sup>, \*\*\*,  
В. Б. Савельева<sup>a</sup>, \*\*\*\*, Б. С. Данилов<sup>a</sup>, \*\*\*\*\*

<sup>a</sup>Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, Иркутск, 664033 Россия

<sup>b</sup>Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, ул. Фаворского, 1А, Иркутск, 664033 Россия

\*e-mail: jdan@crust.irk.ru

\*\*e-mail: vasira@igc.irk.ru

\*\*\*e-mail: shev@igc.irk.ru

\*\*\*\*e-mail: vsavel@crust.irk.ru

\*\*\*\*\*e-mail: boris@crust.irk.ru

Поступила в редакцию 22.03.2019 г.

После доработки 17.12.2019 г.

Принята к публикации 18.12.2019 г.

Изучена благороднометалльная минерализация в метаморфизованных углеродсодержащих породах сарминской серии в южной части Байкальского выступа фундамента Сибирского кратона. Методом рентгеноспектрального микроанализа определен фазовый состав акцессорных рудных минералов: пирит, арсенопирит, микровключения самородных никеля, олова, цинкистая медь, сложные соединения Fe–Ni, Ni–Fe–Ti, а также сульфиды меди и свинца, рутил, монацит, циркон, барит. Методом сцинтилляционной дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии в пробах иликтинской и хулуртуйской свит определены золото, серебро и все элементы платиновой группы, которые представлены частицами самородных благородных металлов, их интерметаллидов, сульфидов, арсенидов, селенидов и сульфосолей. Показана связь проявлений благороднометалльной минерализации в хулуртуйской и иликтинской свитах сарминской серии с тектонометасоматическими процессами, протекавшими в ходе переработки первично-осадочных метаморфических пород.

**Ключевые слова:** благородные металлы, углеродсодержащие породы, сарминская серия, сцинтилляционная дуговая атомно-эмиссионная спектрометрия (САЭС)

DOI: 10.31857/S0016752521010027

### ВВЕДЕНИЕ

Золотые россыпи в Западном Прибайкалье известны с середины XIX в. в верховьях Лены и ее притоков (руч. Чанчур, Большой Анай) и по рекам Правая, Средняя, Малая Иликта. Формирование золотоносного аллювия связано с развитием древних долин на западном фланге Байкальского рифта (Мац, 2010). Приурочены россыпи в основном к верхней части аллювиальных отложений палеодолин. Золото хорошо окатано и отличается высокой пробностью (920–940). Мощность золотоносных пластов небольшая – 0.5–2.5 м, протяженность – 0.1–4.0 км, ширина – 10–400 м при содержании золота от единичных знаков до 2–3 г на 1 т породы. В россыпях встречались самородки массой до 100 г и более. За весь период золотодобычи в Прибайкалье было извлечено около 1 т золота. (Винокуров, Суходолов, 1999). В настоящее время все продуктивные россыпи уже практически отработаны.

Коренное золото в Западном Прибайкалье обнаружено спустя несколько десятилетий после открытия россыпей сначала в Ленском районе, затем в Восточном Саяне (Винокуров, Суходолов, 1999). Позднее было выдвинуто предположение о том, что золотоносные россыпи Прибайкалья сформированы за счет разрушения углеродсодержащих первично-осадочных метаморфических пород (углистых сланцев) и находящихся в них сульфидно-кварцевых золотоносных жил (Буряк, 1966; Устинов, Рыбаков, 1983; Коновалов, 1991).

Активно разрабатываемые в настоящее время месторождения Ленского золоторудного района и их детальное изучение позволили получить информацию о генетической принадлежности золото-сульфидной минерализации к черносланцевым толщам (Буряк, 1966). В середине 1990-х годов появились данные о платиновой минерализации, обнаруженной в крупном золоторудном месторожде-

нии Сухой Лог (Буряк, 2000; Дистлер и др., 1996; Дистлер и др., 2003).

Золотое оруденение в породах сарминской серии впервые рассматривается в работах И.В. Коновалова (1991). Большинство золоторудных проявлений Западного Прибайкалья объединяет общность геологической и структурной обстановки, однотипность морфологии тел и формационная принадлежность. В вопросе генезиса геологи придерживались мнения о гидротермальном происхождении рудного золота. Основанием для этого является довольно четкая приуроченность групп проявлений к зонам повышенной проницаемости в интенсивно трещиноватых участках на пересечениях зон глубинных разломов. Различия в минеральных ассоциациях объясняются наложением одновременных процессов по одним и тем же зонам проницаемости. Рудное золото приурочено к зонам дробления в углистых сланцах, к интенсивно окварцованным песчаникам и жилам кварца в приконтактной области пород иликтинской свиты и гранитов приморского комплекса. Средние содержания золота по отдельным участкам составляют до 1 г на тонну породы (Винокуров, Суходолов, 1999). Малые параметры тел и низкое содержание металла в руде не позволяют на сегодняшний день считать Прибайкальский район перспективным для золотодобычи. Серебро как сопутствующий элемент благороднометалльной минерализации отмечен на всех изученных золоторудных участках, но практического интереса также не имеет в виду его непромышленной концентрации. Элементы группы платины на территории Западного Прибайкалья до настоящего времени не изучались.

В настоящее время признана существенная роль углерода в процессах концентрирования, переноса и переотложения рудного вещества в осадочно-метаморфических породах, но определение низких содержаний благородных металлов (БМ), в том числе элементов платиновой группы, в геологических образцах с повышенным содержанием углерода является нетривиальной аналитической задачей. Поэтому для изучения пород сарминской серии (Западное Прибайкалье), наряду с традиционно применяемыми методами химического анализа и рентгеновского микрозондового исследования пород и минералов, использовали метод дуговой сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектроскопии (САЭС), который позволяет без сложной пробоподготовки одновременно определять низкие валовые содержания золота, серебра и всех элементов платиновой группы, а также количество, размер и элементный состав частиц, содержащих эти металлы (Васильева и др., 2018). Информация, полученная методом САЭС позволит связать формирование благороднометалльной минерализации с определенными типами пород и может способствовать выделе-

нию минералого-геохимических критериев поиска месторождений благородных металлов.

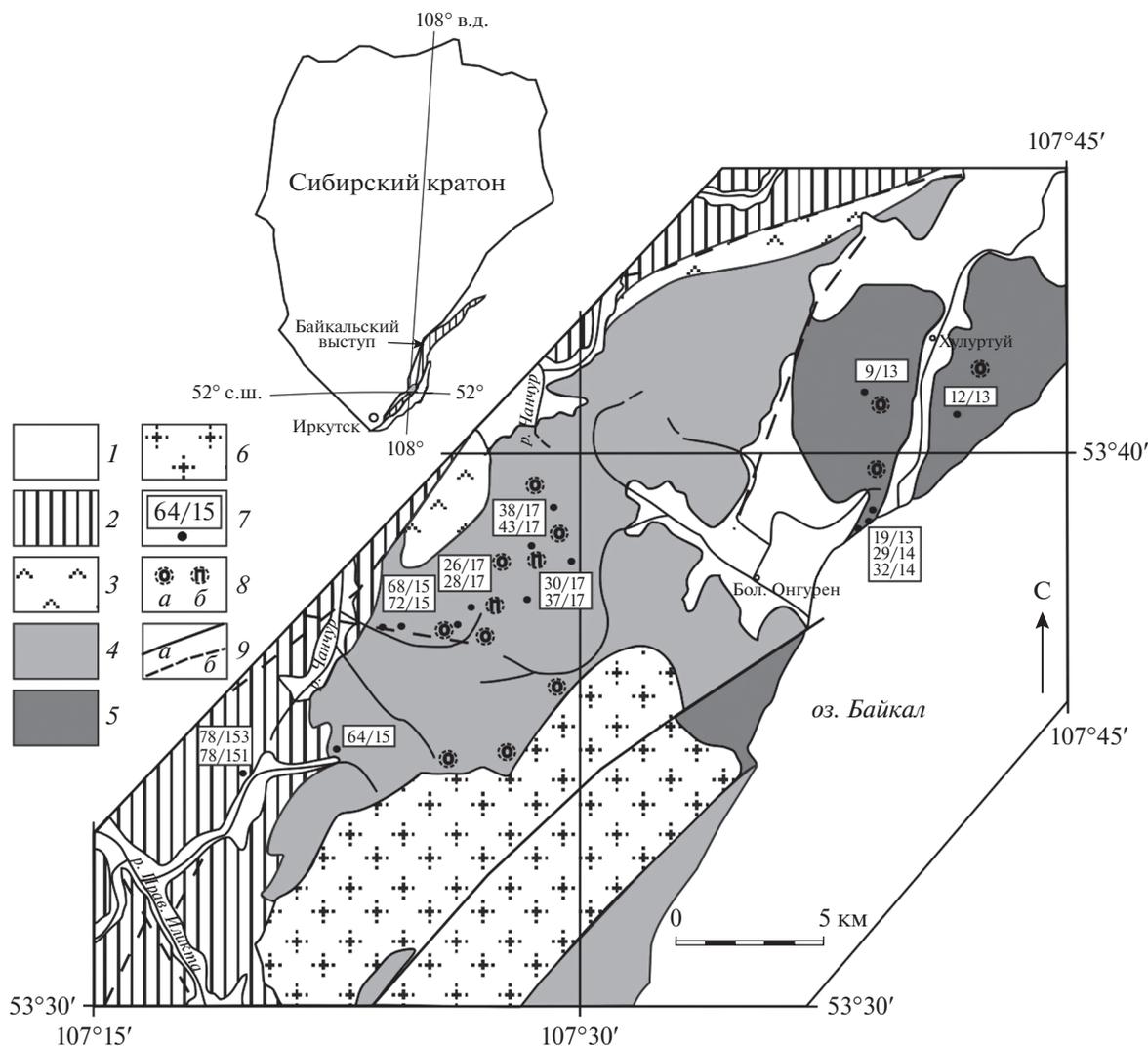
## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись метаморфизованные углеродсодержащие породы сарминской серии  $PR_1$  в южной части Байкальского выступа фундамента Сибирского кратона (рис. 1).

На большей части этой территории развиты образования иликтинской свиты, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации и представленные метаэффузивами основного, среднего, редко кислого состава, хлорит-кварцевыми, серицит-хлорит-кварцевыми, углисто-кварц-серицитовыми сланцами и микросланцами, филлитами, известняками, песчаниками — полевошпатово-кварцевыми, полимиктовыми, кварцевыми, гравелистыми и туфопесчаниками. Породы прорываются гранитами приморского комплекса, на контакте с которыми претерпевают слабое ороговывание. В зонах тектонических нарушений породы иликтинской свиты издроблены, милонитизированы и подвергнуты углеродизации. Углеродное вещество (УВ) сланцев иликтинской свиты в основном характеризуется дисперсным рентгеноаморфным состоянием. В некоторых выделениях УВ проявлена сильная люминесценция, свидетельствующая о присутствии в составе битумообразующих компонентов (Савельева и др., 2019).

Образцы для исследований отбирались из коренных обнажений в зонах дробления и расланцевания, где тектонические процессы проявлены наиболее интенсивно (рис. 1, обр. 64/15, 37/17, 28/17, 43/17). На отдельных участках прослежено окварцевание, которое в основном сопровождается сульфидизацией (рис. 1, обр. 68/15, 72/15, 26/17, 30/17, 38/17). В верхнем течении р. Правая Иликта, р. Курга отобраны углисто-кварц-серицитовые сланцы (рис. 1, обр. 78/151, 78/153) из золотоносного аллювия (Мац, 2010).

В районе поселков Онгурен и Большое Кочериково выделяется блок площадью около 60 км<sup>2</sup>, сложенный породами амфиболитовой фации метаморфизма, относимыми к хулуртуйской свите сарминской серии (Устинов, Рыбаков, 1983). Это, главным образом, биотитовые, роговообманково-биотитовые, роговообманковые и редко гранат-биотитовые гнейсы и мигматиты, амфиболиты, кварциты и карбонатные породы. Взаимоотношения между свитами не ясны; по контакту хулуртуйской и иликтинской свит наблюдается мощная зона дробления, по обе стороны от которой фиксируется азимутальное несогласие в простирации пород (Устинов, Рыбаков, 1983). Породы хулуртуйской свиты интродуцированы синметаморфическими гранитами кочериковского комплекса,



**Рис. 1.** Схема геологического строения участка работ в пределах Байкальского выступа фундамента Сибирского кратона. 1 – русловые отложения KZ; 2 – карбонатно-терригенные отложения байкальской серии R; 3 – терригенные и вулканогенные образования акитканской серии PR<sub>1</sub>; образования сарминской серии PR<sub>1</sub>; 4 – иликтинская свита, 5 – хултуртуйская свита; 6 – граниты Приморского комплекса PR<sub>1</sub>; 7 – точки отбора образцов из углеродсодержащих сланцев сарминской серии; 8 – проявления: а – окварцевания, б – пиритизации; 9 – разломы: а – установленные, б – предполагаемые.

дайками габбро-диабазов и карбонатитов (Савельева и др., 2016).

На многих участках Хултуртуйского блока метаморфические породы и прорывающие их гранитоиды и диабазы несут следы деформаций, сопровождавшихся изменением первоначального минерального состава: замещением биотита мусковитом и хлоритом, роговой обманки актинолитом и хлоритом, плагиоклаза серицитом. В сростаниях с новообразованным мусковитом часто наблюдается углеродное вещество. УВ здесь представлено явно- и микрокристаллическим графитом с остаточными углеводородными радикалами (Савельева и др., 2019). В южной части блока в обрывах оз. Байкал (рис. 1, обр. 19/13, 32/14) в катаклазированных мигматитах и расслан-

цованном хлоритизированном диабазе (рис. 1, обр. 29/14) наблюдаются крутопадающие зоны рассланцевания мощностью до 6 м, сложенные кварц-мусковит-углеродистыми динамосланцами с примесью хлорита и альбита. Рассланцеванием затронута также краевая часть дайки диабаза, который преобразован в кварц-мусковит-хлорит-углеродистый динамосланец. Выходы углеродистых динамосланцев встречаются и на других участках Хултуртуйского блока, где приурочены к зонам субмеридионального и северо-восточного простирания (рис. 1, обр. 9/13 и 12/13).

## МЕТОДЫ

Макро- и микроэлементный составы акцессорных рудных минералов установлены методом

рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) с использованием сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 (Чехия) с энергодисперсионной приставкой Oxford Instruments X-Maх в ЦКП “Геонаука” ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар. Исследование состава рудных минералов выполнено в свежих сколках горных пород в их естественном состоянии (высота образца не более 36 мм).

Содержания элементарного некарбонатного углерода ( $C_{эл}$ ) определены весовым методом из навески 1000 мг порошка углеродсодержащей породы, выполнено в ЦКП “Геодинамика и геохронология” в ИЗК СО РАН, г. Иркутск.

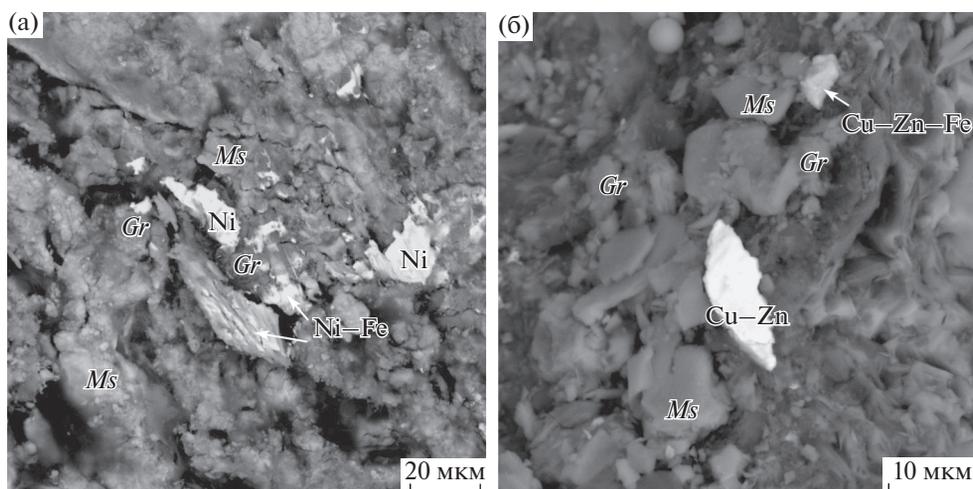
На оборудовании ЦКП “Изотопно-геохимических исследований” ИГХ СО РАН (Иркутск) определены валовые содержания 50 петрогенных и примесных элементов в порошковых пробах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с дуговым разрядом (АЭС ДР) по способу полного испарения 20 мг вещества из канала графитового электрода (Васильева и др., 2012). Содержания 22 микроэлементов определены количественно по методике АЭС-ДР по способу вдвухвания-просьпки из навески 300 мг. Повышение точности результатов и улучшение пределов обнаружения достигнуты применением многомерной обработки спектральной информации (Васильева и др., 2012).

Низкое содержание благородных металлов (БМ) в геологических образцах не позволило их обнаружить на этапе изучения элементного состава и рудной минерализации перечисленными методиками АЭС ДР и методом РСМА. Поэтому для определения валовых содержаний Au, Ag, Pt и Pd, подсчета числа и распределения их частиц по размерам в 600 мг каждой пробы использовали методику дуговой сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектроскопии (САЭС) (Шабанова и др., 2012). По четыре спектра единичных навесок по 150 мг были зарегистрированы на комплексе, включающем установку “Поток”, спектрограф СТЭ-1 и МАЭС на основе четырех фотодиодных линеек БЛПП 369М4 при базовой экспозиции 4 мс. Поиск и установление элементных ассоциаций редких минеральных фаз, содержащих Au, Ag и все элементы платиновой группы (Pt, Pd, Ir, Os, Rh и Ru), выполнен в идентичных условиях по методике САЭС на усовершенствованном спектральном комплексе при регистрации в сцинтилляционном режиме атомно-эмиссионных спектров 20 элементов дополнительно (Васильева и др., 2018). Комплекс включал установку “Поток”, спектрометр “Гранд-1500” с МАЭС на основе фотодиодных линеек БЛПП 2000 (базовая экспозиция 3 мс). Установлен элементный состав найденных редких минеральных фаз и суммарное количество каждой в восьми спектрах каждой пробы (общая масса 1200 г).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании изучение составов аксессуарных рудных минералов с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 показало присутствие пирита и арсенипирита в окварцованных углистых сланцах иликтинской свиты из зон дробления и окварцевания. Размер исследованных зерен колеблется от 1 до 40 мкм. Рудные включения находятся в алюмосиликатной матрице, в трещинах и пустотах, наиболее часто встречаются в сосредоточениях слабоокристаллизованной и кристаллической углеродной массы. Содержание элементарного некарбонатного углерода ( $C_{эл}$ ) в породах иликтинской свиты составляет менее 3 мас. %. В мусковит-углеродистых динамосланцах Хулуртуйского блока содержание  $C_{эл}$  значительно выше – до 10–16 мас. %. В динамосланцах хулуртуйской свиты (обр. 9/13, 19/13, 32/14) среди графита установлены микровключения самородных металлов величиной 10–50 мкм и их скопления: самородные Ni (10–15 мкм) с примесью Fe, Sn, цинкистая медь и сложные соединения Fe–Ni, Ni–Fe–Ti, Ti–TR составов, а также сульфиды меди и свинца, рутил, монацит, циркон, барит (рис. 2). В рассланцованном хлоритизированном углеродистом диабазе (обр. 29/14) зафиксированы мелкие скопления зерен (5–10 мкм) барита, циркона, монацита с TR и оксидов Се. Несмотря на целенаправленный поиск методом РСМА, в углеродсодержащих сланцах иликтинской свиты и динамосланцах Хулуртуйского блока минеральные фазы благородных металлов не были обнаружены.

По данным методик АЭС ДР (табл. 1) в углеродсодержащих сланцах повышены валовые содержания Fe, Mn, Ti, В, Ni, Li, Cr, V, W, Mo, Ga, As, Cu, Zn, Pb и Bi (табл. 1) по сравнению со средними содержаниями в литосфере (Wedepohl, 1967). По мнению М.Р. Ketris, Ya.E. Yudovich (2009) концентрации В, V, W, Mo, Cu и Bi должны быть на порядок выше в черных сланцах кремнистого состава, что требует относить содержания этих элементов в изученных образцах иликтинской свиты к диапазону от повышенных до близких к средним содержаниям в литосфере. Повышенными содержаниями (г/т): Fe (40000–80000), Cr (77–260), W (6.3–8.4), Ga (27–50), As (54–500) характеризуются обогащенные рудными минералами милонитизированные углистые сланцы иликтинской свиты. Содержания V, Zn выше средних в литосфере (Wedepohl, 1967) отмечены в хлоритизированных сланцах иликтинской свиты. Во всех динамосланцах Хулуртуйского блока повышены Li г/т (26–95), Ga (18–50). Содержание Ni (82–140 г/т) повышено исключительно в кварц-мусковит-углеродистых динамосланцах. Повышенным содержанием Ti, V, Cr, W, Mo характеризуется только интенсивно деформиро-



**Рис. 2.** Микровключения самородных металлов в углеродизированном динамосланце. (а) – самородный никель и соединение Ni–Fe; (б) – цинкистая медь Cu–Zn и соединение Cu–Zn–Fe. Свежий скол породы, изображение в упруго-отраженных электронах. *Ms* – мусковит, *Gr* – графит ( $C_{эл}$ ).

ванный пегматит с графитом. Общим результатом для всех проанализированных образцов, учитывая данные М.Р. Ketris, Ya.E. Yudovich (2009), является близкие к средним и ниже средних содержания в литосфере уровень элементов: P, Mo, Cu, Tl и Bi. В тоже время выделяются образцы с аномально высокими концентрациями отдельных элементов, г/т: Mn (>3000), В (>200), Cu (470), As (>500), что объясняется более высокой дифференциацией соединений этих элементов в углеродсодержащих породах и образованием крупных минеральных фаз.

Валовые содержания благородных металлов определены методом САЭС и варьировали (г/т): Au 0.013–0.79; Ag 0.03–1.7; Pt 0.04–0.1; Pd 0.002–0.008 (табл. 2); Ir, Os, Rh и Ru – в сумме не более 0.005. В милонитизированных углистых сланцах иликтинской свиты, обогащенных рудными минералами, содержания Au, Ag и Pt (г/т) составили (0.02–0.79), (0.03–1.7) и (0.05–0.1) соответственно. Во всех динамосланцах Хулуртуйского блока, включая измененные диабаз и пегматит, содержания благородных металлов (г/т): Au (0.01–0.02), Ag (0.13–1.3) и Pt (0.04–0.1). Для каждой пробы массой 600 мг получены распределения по размерам частиц Au, Ag, Pt и Pd, которые указывают на вариации крупности частиц только Au и Ag в иликтинской свите и только серебра в хулуртуйской. Все частицы, содержащие Pt и Pd, в обеих свитах имеют диаметр 2–6 мкм.

Методом САЭС в 11 пробах иликтинской свиты зарегистрировано более 270 тысяч частиц, в 5 пробах хулуртуйской свиты – более 118 тысяч частиц. В сцинтилляционных спектрах зарегистрировано более 15000 вариантов разных по элементному составу ассоциаций 28 элементов, представ-

ленных моно- и многоэлементными частицами; единичные частицы содержат до 8–14 элементов. В пробах иликтинской свиты число частиц-носителей БМ к общему числу найденных частиц составило 2.6%, для хулуртуйской свиты – 9.5% при среднем содержании  $C_{эл}$  1.68 и 4.72% соответственно. Для установления элементного состава частиц сцинтилляционные эмиссионные спектры элементов обрабатывали в модуле “Корреляционный анализ” программы “Атом” (Васильева и др., 2018). Фрагменты обработки сцинтилляционных спектров и найденная частица сложного состава Pt–Fe–S представлены на рис. 3а и 3б, соответственно.

Многочисленные частицы самородных неблагородных металлов и неметаллов зарегистрированы во всех пробах обеих свит, но их встречаемость и количество различны. Для 11 проб иликтинской свиты ряд элементов по убыванию количества моночастиц (в скобках указаны минимальное и максимальное число зарегистрированных частиц) имеет следующий вид:

S (1200–1900)–Fe (400–1400)–Mo (100–1200)–Sn (250–1000)–Cr (290–750)–Pb (130–600)–Se (180–550)–Ti (150–550)–Ni (75–400)–As (15–470)–Cu (90–180)–Nb (90–160)–Cd (50–130)–Sb (5–70)–Bi (5–40)–Ta (5–15)–W (3–10)–Te (1–15).

Для пяти проб хулуртуйской свиты ряд по убыванию числа моноэлементных частиц имеет иную последовательность элементов:

S (1200–1900)–Mo (300–1500)–Fe (400–1200)–Sn (400–800)–Ti (450–600)–Cr (380–570)–Ni (50–500)–Pb (200–450)–Se (160–550)–Cu (100–250)–Nb (100–200)–Cd (60–130)–As (10–30)–Sb (10–20)–Bi (9–20)–Ta (5–15)–Te (4–15)–W (2–10).

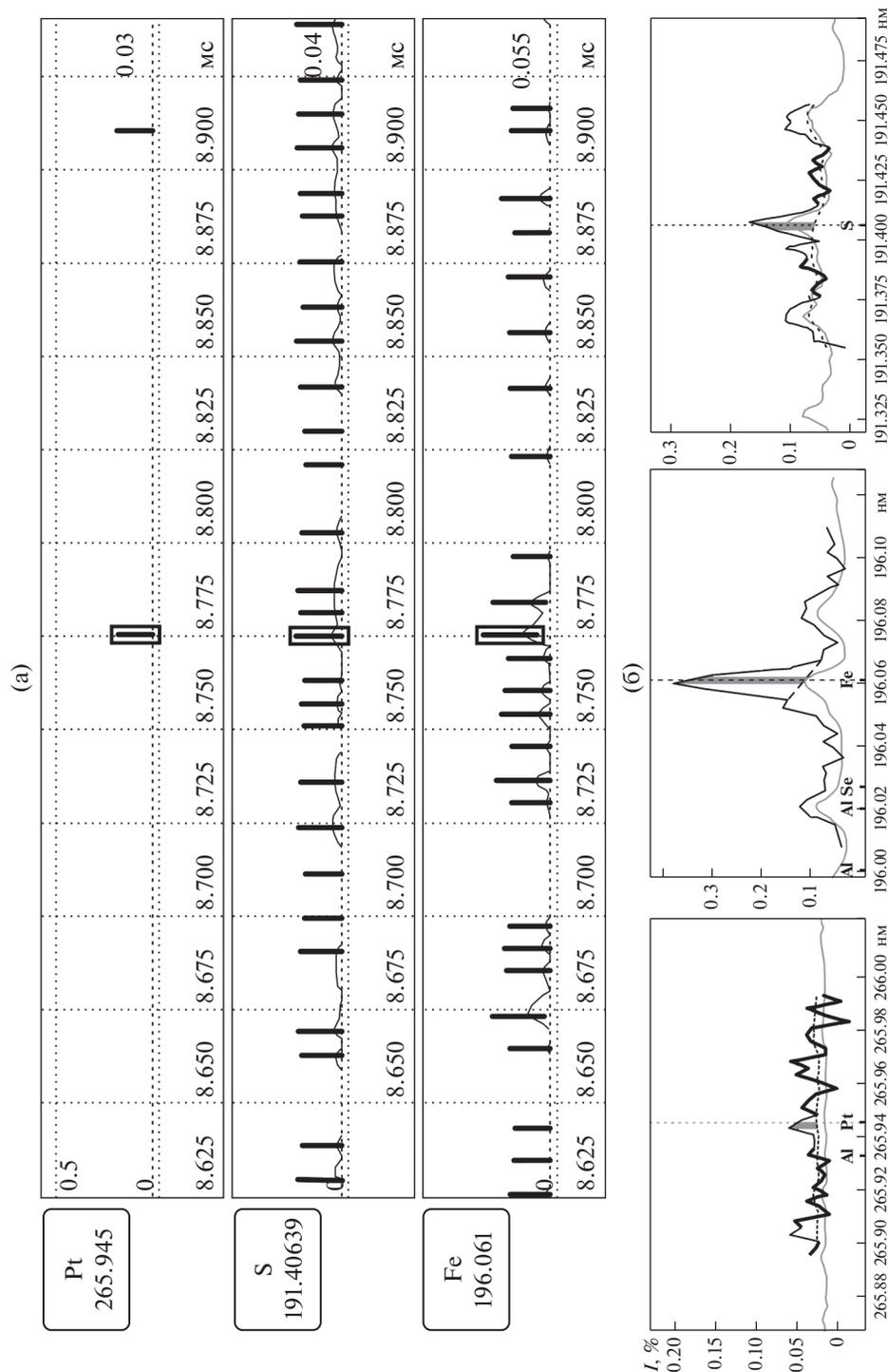
Таблица 1. Содержание элементов (г/т) в породах сарминской серии

Элемент	иликтинская свита										хулургуйская свита					Средние содержания в литосфере Wedepohl, (1967)	
	64/15	37/17	28/17	43/17	68/15	72/15	26/17	30/17	38/17	78/151	78/153	9/13	19/13	32/14	29/14		12/13
C <sub>эл</sub>	41000	31000	12000	н.а.	12000	6300	17000	2000	18000	13000	16000	11000	38000	95000	75000	17000	320
Fe	<b>80000</b>	30000	<b>60000</b>	<b>80000</b>	<b>80000</b>	30000	15000	<b>80000</b>	<b>40000</b>	<b>50000</b>	<b>60000</b>	15000	15000	<b>50000</b>	15000	15000	35400
Ti	5000	5000	3000	5000	4000	100	5000	150	4000	5000	300	5000	<b>7000</b>	5000	4000	8000	4700
Mn	170	50	140	815	180	300	120	50	220	330	> <b>3000</b>	250	230	340	320	270	690
P	530	370	310	820	510	80	210	320	230	580	440	220	60	160	270	190	810
Li	30	15	28	22	75	14	<b>36</b>	20	<b>56</b>	<b>37</b>	10	<b>64</b>	<b>95</b>	<b>26</b>	<b>52</b>	<b>37</b>	30
B	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>170</b>	<b>14</b>	<b>70</b>	<b>25</b>	<b>130</b>	2.8	> <b>200</b>	110	74	63	22	> <b>200</b>	<b>35</b>	<b>26</b>	9
As	4.7	<b>115</b>	<b>55</b>	8.0	9.0	19	<b>395</b>	> <b>500</b>	<b>170</b>	4.7	17	4.1	11	7.5	5.5	7.2	1.7
Bi	<b>1.0</b>	<b>1.4</b>	0.7	0.3	<b>1.1</b>	<b>2.2</b>	<b>3.1</b>	<b>2.3</b>	<b>3.2</b>	<b>1.0</b>	<b>1.2</b>	<b>1.6</b>	<b>1.0</b>	<b>1.3</b>	0.8	<b>2.3</b>	0.2
Cd	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	1.0	<0.3	<0.3	<0.3	1.0	<0.3	<0.3	0.6	0.13
Co	9.1	5.2	<b>15</b>	<b>34</b>	<b>14</b>	6.6	7.3	<b>14</b>	7.4	8	<b>23</b>	<b>19</b>	1.4	<b>37</b>	3.8	9.6	12
Cr	<b>77</b>	60	<b>180</b>	30	<b>105</b>	<b>110</b>	<b>120</b>	<b>89</b>	<b>260</b>	61	<b>94</b>	<b>110</b>	16	70	41	<b>100</b>	70
Cu	19	38	14	<b>81</b>	17	22	17	32	<b>36</b>	17	<b>51</b>	<b>53</b>	23	<b>470</b>	12	<b>39</b>	30
Ga	<b>30</b>	<b>50</b>	17	14	17	2.2	<b>45</b>	<0.5	<b>27</b>	21	7.3	<b>18</b>	<b>50</b>	<b>19</b>	<b>42</b>	<b>32</b>	17
Ge	2.4	<b>5.8</b>	<b>5.8</b>	1.2	3.3	3.7	9.0	1.6	5.0	3.8	1.2	1.2	1.6	1.6	1.9	<b>4.2</b>	1.3
Mo	0.9	<b>29</b>	0.8	1.6	0.7	<b>4.6</b>	<b>9.2</b>	<b>2.3</b>	<b>45</b>	0.8	<b>1.7</b>	<b>9.5</b>	<b>4.5</b>	<b>12</b>	0.6	<b>21</b>	1
Ni	24	33	30	25	46	17	32	19	38	37	76	<b>140</b>	13	<b>82</b>	35	32	44
Pb	15	<b>59</b>	4.3	11	3.8	13	14	15	15	14	22	16	13	<b>29</b>	5.2	<b>30</b>	15
Sb	0.5	<b>14</b>	<0.5	2.0	0.8	<0.5	1.3	<0.5	10	0.5	<0.5	<0.5	1	<0.5	0.9	0.7	0.5
Sn	<b>6.8</b>	<b>6.0</b>	<b>6.8</b>	1.7	3.4	<1.5	<b>6.0</b>	5.1	6.1	3.1	4.2	3	1.7	4.1	2.2	2.2	3
Tl	0.7	2.0	0.4	<0.3	0.5	1.4	0.9	<0.3	2.5	0.6	1.1	1.0	1.2	1.4	0.7	1.1	1.3
V	<b>110</b>	<b>130</b>	<b>100</b>	<b>270</b>	<b>140</b>	8.5	<b>130</b>	6.4	<b>250</b>	90	74	84	23	<b>99</b>	60	<b>170</b>	95
W	1.2	<b>1.8</b>	<b>1.6</b>	<1	1.1	<b>8.4</b>	<b>2.5</b>	<b>6.3</b>	<b>7.1</b>	1	<b>2.3</b>	<b>3</b>	<b>2.5</b>	<b>2.1</b>	<b>2</b>	<b>2.7</b>	1.3
Zn	77	81	<b>94</b>	<b>120</b>	75	49	63	20	<b>170</b>	<b>100</b>	<b>115</b>	<b>105</b>	41	<b>93</b>	24	58	60

Примечания. 64/15, 37/17 – интенсивно милонитизированные углисто-кварц-серпичитовые сланцы; 28/17, 43/17 – углисто-хлорит-кварцевые сланцы; 68/15, 72/15, 26/17, 30/17, 38/17 – углистые сланцы с кварцеванием и сульфидизацией; 78/151, 78/153 – углистые сланцы из золотоносного аллювия; 9/13, 19/13, 32/14 – углисто-кварц-мусковитовые динамосланцы; 29/14 расланцованный хлоритизированный углеродистый диабаз; 12/13 – деформированный перматит с графитом. Знак “<” – содержание элемента ниже предела обнаружения; жирный шрифт – повышенное содержание элемента; знак “>” – содержание элемента выше верхней границы определения; н.а. – не анализировали.

Таблица 2. Валовые содержания и распределение по размерам частиц Au, Ag, Pt и Pd, зарегистрированных методом САЭС, в породах сарминской серии

Проба	Au				Ag				Pt				Pd				
	распределение частиц по диаметрам (мкм), %				распределение частиц по диаметрам (мкм), %				распределение частиц по диаметрам (мкм), %				распределение частиц по диаметрам (мкм), %				
	2-6	6-10	10-16	16-22	2-6	6-10	10-16	16-22	2-6	6-10	10-16	16-22	2-6	6-10	10-16	16-22	
	C, (г/т)				C, (г/т)				C, (г/т)				C, (г/т)				
	>22				>22				>22				>22				
Иликтинская свита																	
64/15	91.7	8.3	-	-	92.1	5.3	2.6	-	<0.02	100	-	-	-	100	0.068	0.0021	
37/17	95.2	-	4.8	-	96.6	3.2	0.2	-	1.7	100	-	-	-	100	0.071	<0.0015	
28/17	100	-	-	-	100	-	-	-	<0.02	100	-	-	-	100	0.088	<0.0015	
43/17	100	-	-	-	100	-	-	-	<0.02	100	-	-	-	100	0.099	<0.0015	
68/15	100	-	-	-	90.5	9.5	-	-	<0.02	100	-	-	-	100	0.084	<0.0015	
72/15	87	-	-	13	95	2.5	2.5	-	<0.02	100	-	-	-	100	0.046	<0.0015	
26/17	94.1	-	5.9	-	100	-	-	-	0.03	100	-	-	-	100	0.100	<0.0015	
30/17	61.2	14.3	8.2	4.1	99.4	0.5	0.1	-	0.10	100	-	-	-	100	0.080	0.0049	
38/17	100	-	-	-	99.9	0.1	-	-	0.17	100	-	-	-	100	0.087	<0.0015	
78/151	100	-	-	-	100	-	-	-	<0.02	100	-	-	-	100	0.054	0.0051	
78/153	100	-	-	-	99.8	0.2	-	-	0.13	100	-	-	-	100	0.034	0.0060	
Хултуртуйская свита																	
9/13	100	-	-	-	93.2	6.8	-	-	0.92	100	-	-	-	100	0.074	0.0058	
19/13	100	-	-	-	99.4	0.6	-	-	0.55	100	-	-	-	100	0.100	0.0059	
32/14	100	-	-	-	65.8	34.1	0.1	-	1.3	100	-	-	-	100	0.038	0.0049	
29/14	100	-	-	-	100	-	-	-	<0.02	100	-	-	-	100	0.050	0.0079	
12/13	100	-	-	-	70.0	29.9	0.1	-	1.2	100	-	-	-	100	0.044	0.0028	
Средние содержания в литосфере																0.005	0.010
Примечания. C, (г/т) – содержание элемента ниже предела обнаружения. Жирным шрифтом выделены содержания элементов, превышающие их средние содержания в литосфере (Wederohl, 1967). Прочерк указывает, что частицы указанного размера не обнаружены в порошке пробы массой 600 мг.																	



**Рис. 3.** Фрагменты сцинтилляционных спектров на длинах волн Pt, Fe и S. Время появления сложной частицы Pt–Fe–S отмечено на 8.775 мс черным контуром (а). Элементный состав этой частицы установлен по спектрам (б).

Самородные Co и Zn (до 150 частиц и 50 частиц соответственно) зарегистрированы в некоторых пробах иликтинской свиты, в трех пробах хулуртуйской свиты, найдено до 90 моноэлементных частиц каждого из этих металлов.

В общем количестве доля найденных частиц различного элементного состава для 15 металлов,

перечисленных в рядах распространенности, сопоставима с числом частиц их сульфидов сульфосолей и арсенидов. Установлено присутствие в пробах частиц (минеральных фаз) интерметаллидов, сульфидов и сульфосолей Fe, Ni, Ti, Pb, Cu, Zn, которые также были определены методом РСМА. Кроме того, найдены БМ, вероятно, на-

ходящиеся в сростках или в пленках с этими соединениями на поверхности частиц разных размеров. Однако они не фиксируются методом РСМА вследствие того, что пределы обнаружения БМ в атомно-эмиссионной спектроскопии на 1–3 порядка лучше, чем в рентгеновской спектроскопии.

Число частиц одинакового элементного состава, содержащих БМ (табл. 3), в пробах двух свит варьирует значительно, составляя 30–60%, что свидетельствует о различной интенсивности физико-химических процессов их образования. Обе свиты характеризуются максимальным числом частиц самородного серебра и его интерметаллидов с другими БМ, но минимальным количеством частиц-носителей Ir, Au и Os (табл. 3). В пробах иликтинской свиты наибольшие вариации частиц самородных БМ отмечены для Au, Ir, Os и Ru при малой изменчивости числа частиц Pd, Pt и Rh и высокой вариабельности числа частиц самородных элементов Co, Zn, Sb, Pb и Bi. В пробах хулуртуйской свиты имеют высокую вариабельность, кроме самородных Ir, Os и Ag также Co, Zn, Mo и Ni при низкой вариабельности Au, Pd, Pt, Rh и Ru. Примерно равное количество частиц самородного иридия и соединений с ним найдено в обеих свитах. Кроме моноэлементных частиц серебра и элементов платиновой группы, найдены десятки и сотни частиц их интерметаллидов, среди которых преобладают соединения с серебром, родием, рутением, палладием и платиной, распределенные в порошках проб весьма равномерно. Интерметаллид Ag–Rh наблюдается в максимальных количествах во всех пробах обеих свит. Однако в иликтинской присутствует больше частиц интерметаллидов Ag–Pd, Ag–Pt, Ag–Os и Rh–Ru при отсутствии частиц Au–Rh и Pt–Ru, а в хулуртуйской – больше только Ag–Pt и Ag–Pd частиц, но не найдены частицы Os–Ir, Pd–Os, Rh–Ru и Rh–Ir. Таким образом, соответствующие ряды распространенности элементных ассоциаций моночастиц и интерметаллидов имеют следующий вид:

иликтинская свита:  $Ag \gg Rh \sim Ru > Pt \sim Pd > Ir \sim Os > Au$ ;

хулуртуйская свита:  $Ag \gg Rh > Pd \sim Pt > Ru > Ir \sim Os > Au$ .

Сульфиды всех БМ присутствуют в пробах обеих свит при минимальном количестве сульфидов Ir, Os и Au. Ряды встречаемости частиц–сульфидов БМ идентичны рядам интерметаллидов. Распространенность ассоциаций БМ с неметаллами следующая: БМ–S, БМ–Se, БМ–S–Se и БМ–As с добавлением разных благородных металлов. Самое большое количество и разнообразие соединений установлено на основе серебра. Платина, палладий, осмий, родий и рутений преимущественно образуют соединения из двух элементов

(Pt–As, Pd–S, Pd–Mo, Pd–Sn, Os–S, Os–Cr, Rh–Se, Ru–S и др.). Интерметаллические соединения и другие элементные ассоциации на основе золота и иридия крайне редки (1–15 частиц на пробу).

Образцы с максимальным содержанием золота (0.79 г/т) отмечены в кварцево-сульфидной жиле среди углистых сланцев иликтинской свиты. Углистые сланцы иликтинской свиты хлорит-кварцевого, серицит-хлорит-кварцевого, кварц-серицитового составов более золотоносны по сравнению с динамосланцами Хулуртуйского блока. Обнаружены самородные частицы золота размером более 22 мкм (табл. 2).

Крупные индивидуальные золотины найдены только в углисто-кварц-серицитовых сланцах с окварцеванием и сульфидизацией, в иликтинской свите. Частицы самородного золота и сложных соединений с ним, найдены в основном в пробах углистых сланцев иликтинской свиты, в минеральном составе которых присутствовали видимые вкрапления сульфидов, или образцы содержали кварц-сульфидные прожилки. Серебро является “сквозным” элементом для всего проанализированного материала и преобладает среди БМ как по числу самородных частиц, так и по разнообразию элементных ассоциаций. Палладий, интерметаллические соединения с ним и соединения с хромом, никелем, медью, оловом, цинком более характерны для хлоритизированных углистых сланцев иликтинской свиты и пород Хулуртуйского тектонического блока, где выделяются интенсивно деформированные углеродизированные и хлоритизированные диабазы. Нет основания считать высокообогащенными золотом и другими БМ образцы сланцев углисто-кварц-серицитового состава, отобранные из золотоносного аллювия в верхнем течении р. Правая Иликта, р. Курга. В них валовые содержания БМ близки к средним содержаниям в литосфере, (г/т): Au 0.02–0.024; Ag 0.03–0.13; Pt 0.03–0.05; Pd 0.005–0.006.

Серебро в повышенных концентрациях (1.2–1.7 г/т) отмечено во всех исследованных образцах Хулуртуйского блока и в интенсивно деформированных сланцах иликтинской свиты с пирит-арсенопиритовой минерализацией. Большинство серебряных частиц не являются моноэлементными, а находятся в элементных ассоциациях с благородными и другими металлами, серой, мышьяком, селеном. Размеры частиц самородного серебра и серебросодержащих соединений варьируют от 2 до 10–16 мкм. Валовые содержания элементов БМ коррелируют с количеством и размерами частиц конкретного металла, особенно это очевидно для серебра (1.7 г/т более 5000 шт.). Частицы платины и палладия имеют мелкие размеры 2–6 мкм. Максимальное число частиц, содержащих Os, обнаружены в пробах 38/17 и 28/17 интенсивно милонити-

**Таблица 3.** Некоторые элементные ассоциации с наибольшим числом частиц-носителей БМ, зарегистрированные методом САЭС, в пробах иликтинской и хулуртуйской свит

Элементная ассоциация	Количество частиц															
	иликтинская свита										хулуртуйская свита					
	64/15	37/17	28/17	43/17	68/15	72/15	26/17	30/17	38/17	78/151	78/153	9/13	19/13	32/14	29/14	12/13
Au	4	2	—	—	2	1	3	13	—	2	1	2	2	1	—	3
Ag	137	258	106	295	175	258	400	262	308	277	314	268	513	172	270	405
Ir	5	3	1	10	7	4	2	2	7	1	3	10	2	4	5	3
Os	—	6	25	—	6	5	4	3	29	1	7	12	1	3	—	15
Pd	31	36	38	39	36	34	35	29	41	34	37	46	38	43	42	41
Pt	34	26	29	26	21	15	30	11	25	24	31	21	24	21	32	39
Rh	60	48	30	44	48	48	43	63	57	58	48	52	63	53	55	77
Ru	25	27	18	26	26	40	32	63	28	14	17	16	19	13	13	24
Ag—Os	—	2	—	—	—	—	1	—	9	—	2	1	—	1	—	2
Ag—Pd	2	1	1	3	1	2	5	—	2	—	5	1	—	1	4	7
Ag—Pt	—	1	—	3	2	4	4	—	—	1	1	3	4	—	2	5
Ag—Rh	2	2	1	3	3	3	3	4	1	1	3	2	1	2	4	3
Ag—Ru	2	1	—	—	—	4	1	7	—	1	1	—	2	1	—	3
Rh—Ru	—	—	—	—	—	3	—	5	—	—	1	—	—	—	—	—
Ag—Fe	35	81	52	91	36	77	38	64	51	51	82	52	76	32	19	30
Ag—Mo	26	63	33	106	48	43	84	42	50	97	53	143	288	86	116	182
Ag—Sn	20	48	18	32	24	48	107	30	62	56	52	21	73	43	58	43
Os—Mo	—	—	8	—	1	5	1	—	8	—	—	1	—	2	1	3
Pd—Fe	7	10	19	11	13	5	5	10	7	4	8	12	7	9	3	4
Pd—Mo	5	1	7	7	13	5	5	2	2	15	5	3	7	2	14	4
Rh—Mo	10	3	6	12	13	5	6	4	5	14	2	—	11	5	19	3
Pd—Sn	8	5	1	2	7	2	4	6	7	4	6	4	11	6	6	5
Pt—Fe	3	2	5	9	4	3	5	7	7	4	3	6	2	4	6	2
Pt—Mo	5	3	6	6	15	7	1	1	1	9	5	3	7	1	5	3
Rh—Fe	7	11	7	9	10	3	5	24	2	8	8	10	7	6	6	4
Ru—Fe	4	14	4	5	8	14	1	14	3	4	4	10	3	5	—	4
Ru—Mo	5	2	3	7	8	8	1	5	2	9	2	4	3	2	5	2
Pt—Sn	3	1	2	2	2	1	1	2	3	6	5	1	2	4	3	3
Rh—Sn	5	7	7	5	2	7	14	5	5	8	2	8	7	7	13	11
Ru—Sn	3	6	2	2	3	6	3	3	3	1	4	4	3	1	2	—
Ag—Ni	8	38	10	35	26	32	46	26	21	38	49	140	228	43	99	115
Pd—Ni	2	1	1	3	1	7	2	—	3	7	9	3	3	—	7	—
Rh—Ni	3	1	4	2	10	6	4	2	1	4	4	3	2	—	8	1
Ru—Ni	1	—	3	—	1	5	3	1	—	1	3	—	—	—	2	—
Ag—Pb	6	24	4	9	8	41	22	52	9	7	28	25	35	18	10	21
Pd—Pb	—	4	—	—	2	3	4	8	1	—	5	3	4	10	2	3
Rh—Pb	5	1	2	3	1	4	1	13	1	—	5	3	6	1	—	2
Ru—Pb	—	—	1	1	—	7	2	14	1	—	—	1	2	2	1	1
Ag—S	41	123	45	111	57	134	171	121	80	72	128	74	163	40	73	135
Os—S	—	2	8	—	8	2	3	2	11	1	4	5	—	—	—	4
Pd—S	10	13	13	18	10	16	10	15	16	14	14	13	10	11	14	16
Pt—S	7	10	8	16	4	11	15	9	18	7	13	10	12	9	12	10
Rh—S	12	24	17	20	22	19	21	42	18	18	18	15	14	9	16	21
Ru—S	8	15	7	6	5	18	13	28	16	8	7	10	6	5	6	6
Au—Fe—S	1	—	—	1	—	1	—	5	1	1	—	2	1	—	—	1
Ag—Fe—S	17	36	30	46	20	38	27	55	41	25	50	44	35	20	18	14
Pd—Fe—S	4	5	6	11	2	5	3	3	7	—	6	6	6	3	3	2
Pt—Fe—S	2	3	5	4	2	2	2	3	1	3	7	3	4	—	—	2
Rh—Fe—S	4	4	11	8	5	6	6	19	7	4	6	5	5	7	5	3
Ru—Fe—S	2	5	—	4	2	6	1	12	2	2	6	6	2	—	2	1
Ag—Se	3	16	11	25	15	16	34	13	15	17	10	7	42	7	25	38
Pd—Se	1	3	—	4	6	3	7	1	6	3	2	1	7	1	2	2
Pt—Se	—	3	3	4	2	3	8	—	—	2	3	3	2	2	3	3
Rh—Se	2	5	3	6	1	6	8	3	5	11	1	3	3	—	7	5
Ag—S—As	—	51	—	1	1	2	4	85	37	—	3	—	—	1	—	1
Ag—S—Se	1	12	10	25	6	14	26	23	20	15	11	13	35	1	13	42

Примечания. Прочерк “—” — частицы указанного состава не найдены.

зированных углисто-кварц ± хлорит-серицитовых сланцев иликтинской свиты с окварцеванием и сульфидизацией.

Валовые содержания и размеры частиц иридия, осмия, родия и рутения методом САЭС не определены из-за отсутствия градуировочных образцов состава адекватного пробам. По предварительным оценкам средние диаметры частиц самородных Ir, Os, Rh и Ru составляют 2–4 мкм.

В углистых сланцах сарминской серии байкальского выступа Сибирского кратона (Западное Прибайкалье) методом сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектроскопии определены валовые содержания золота, серебра, палладия и платины. Уровень содержания золота (0.013 до 0.79 г/т) в 16 исследованных пробах соответствует или выше среднего содержания золота в черных сланцах мира – 0.0085–0.04 г/т (Wedepohl, 1967; Ketris, Yudovich, 2009). Содержания платины (0.004–0.1 г/т) в углеродсодержащих пробах варьируют от близких к средним в литосфере (0.005 г/т), в сравнении с данными (Wedepohl, 1967), до повышенных. Палладий во всех проанализированных пробах характеризуется пониженными содержаниями (0.0015–0.008 г/т) при средних содержаниях в литосфере 0.01 г/т (Wedepohl, 1967).

Методом САЭС в 17 пробах пород сарминской серии найдены и установлен элементный состав около 380 тыс. частиц редких минеральных фаз, более 18% из которых содержат БМ. Найдены частицы золота, серебра и всех элементов платиновой группы в виде самородных металлов, их двойных и тройных интерметаллидов друг с другом и неблагородными металлами, сульфидов, арсенидов, селенидов и сульфосолей. Аналогичные ассоциации типичны для черных сланцев Сухого Лога, Ленский золоторудный район (Дистлер и др., 1996; Лаверов и др., 1997; Васильева и др., 2018). Наиболее многочисленным оказался список зарегистрированных частиц серебра в разных элементных ассоциациях. Интерметаллид Ag-Rh найден во всех исследованных пробах обеих свит. Наименьшее число моноэлементных частиц и интерметаллических соединений зарегистрировано для частиц, содержащих Au, Ir и Os. Однако списки элементных ассоциаций частиц-носителей каждого благородного металла для разных свит совпадают только на 40–70%, что, вероятно, обусловлено отличием хулуртуйской свиты от иликтинской по валовым содержаниям углерода (увеличение в 2.8 раза) и железа (уменьшение в 2.5 раза).

В углисто-кварц-серицитовых сланцах иликтинской свиты более распространены ассоциации БМ в виде сульфидов, селенидов арсенидов Fe, Cu, Pb, Zn и т.д. Золото преобладает в самородном виде. В целом низкие содержания Au в

контактной полосе гранитов приморского комплекса на участке р. Курга и в верховьях руч. Миндей, позволяют рассматривать его лишь как зону рассеянной минерализации, где в приконтактной области углистых сланцев иликтинской свиты и гранитов установлены зоны сульфидизации и окварцевания.

В деформированных углеродизированных, хлоритизированных диабазах и в углисто-кварц-мусковитовых динамосланцах вблизи выходов диабазов в южной части Хулуртуйского тектонического блока золотые частицы и соединения с ним найдены реже, чем в углистых кварц-мусковитовых сланцах иликтинской свиты. В тоже время Ag–Rh–Ru–Pt–Pd минерализация в динамосланцах более представительна по валовому содержанию Ag, Pd и Pt и числу частиц БМ. В динамосланцах Хулуртуйского блока на первые позиции в рядах элементных ассоциаций выходят интерметаллические соединения с Ti, Cr, Ni. Повышенные содержания и число частиц платины положительно коррелируют с содержанием элементарного углерода в исследуемом материале.

Осадконакопление и метаморфизм в иликтинской свите сопровождалось сингенетической углеродизацией. Источниками самородных элементов в этих породах могли быть с одной стороны биотит, замещаемый мусковитом, с другой разрушающаяся в процессе метаморфизма биомасса черных сланцев. Участие биогенного вещества в формировании углистых сланцев иликтинской свиты подтверждено изотопным составом углерода  $\delta^{13}\text{C}$  от – 24.15 до – 27.72‰ (Савельева и др., 2019). Кроме того, известно много подтвержденных примеров концентрирования благородных и других металлов металлоорганическими соединениями при активной роли микроорганизмов. (Буслаева, Новгородова, 1989; Баранова и др., 1991; Ханчук и др., 2009; Развозжаева и др., 2011; Развозжаева, 2015). Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными (Юдович и Кетрис, 1991; Варшал и др., 1995; Немеров и др., 2010 и др.), где в объектах черносланцевого типа отмечена связь благороднометалльной минерализации с углеродным веществом, которое оказывает влияние на формирование, сорбирование, перенос и переотложение полезных компонентов.

Метаморфические и магматические породы Хулуртуйского блока фундамента Сибирской платформы претерпели наложенные деформации, сопровождавшиеся воздействием флюидов, из которых отлагался самородный углерод. Присутствие углеводородных радикалов в УВ динамосланцев позволяет предполагать, что отложение самородных углерода и металлов происходило из флюида, содержащего в значительном количестве углеводороды. По сравнению с УВ

иликтинской свиты, значения изотопного состава углерода  $\delta^{13}\text{C}$  которого близки к изотопному составу живой биомассы, углерод динамосланцев Хулуртуйского блока более изотопно-лёгкий (Савельева и др., 2019). Он имеет значения изотопного состава углерода  $\delta^{13}\text{C}$  от  $-29.35$  до  $-31.58\text{‰}$ , присущие жидким углеводородам нефти и битумов, которые встречаются в изверженных породах (Галимов, 1973; Руденко, Кулакова, 2006). Углеродизация в динамосланцах Хулуртуйского блока является эпигенетической, выполняет транспортную функцию для металлов и участвует в перераспределении и отложении полезных компонентов в интенсивно деформированных участках. В отличие от иликтинской свиты, углеродизация в динамосланцах Хулуртуйского блока сопровождалась дополнительным привнесением элементов платиновой группы из глубинного источника флюида.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для изучения пород сарминской серии, наряду с традиционно применяемыми методами химического и рентгеновского микронзондового анализа, использован метод дуговой сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектроскопии (САЭС), который позволил определить валовые содержания золота, серебра и элементов платиновой группы, а также оценить количество, размер и элементный состав частиц, содержащих-БМ и другие металлы. Полученная информация может быть полезна для исследователей и геологов-производственников, занимающихся прогнозом и поисками благороднометалльного оруденения в черносланцевых толщах.

Результаты минералого-геохимических исследований свидетельствуют о сингенетичном характере углеродной и благороднометалльной минерализаций в филлитовидных хлорит-серицитовых сланцах иликтинской свиты. Метаморфические и магматические породы Хулуртуйского блока претерпели наложенные деформации и внедрение углеводородных флюидов. Очевидно, что при тектоническом преобразовании углеродсодержащих осадочных метаморфических пород сарминской серии, сопровождающимся деформациями, разрушением/растворением и перекристаллизацией минералов, углеродная составляющая пород играла важную роль в перераспределении золота и других БМ с обогащением ими отдельных участков. Ассоциация самородных металлов и интерметаллических соединений с углеродным веществом указывает на восстановительную обстановку минералообразования, что согласуется с выводом (Савельева и др., 2019) о присутствии углеводородов во флюиде.

По сравнению с месторождениями Ленского золотоносного района, где выделяют прожилко-

во-вкрапленные кварц-сульфидные руды, залегающие в черносланцевых толщах – Сухой Лог, Голец Высочайший, Чертово Корыто, Западное и другие (Буряк, Хмелевская, 1997; Буряк, 2000; Вуд, 2006; Карпенко и др., 2008; Дистлер и др., 1996, 2003; Жмодик и др., 2008; Тарасова, 2016), углеродсодержащие породы Западного Прибайкалья в целом обеднены благородными металлами, но сопоставимы с ним по типу благороднометалльного оруденения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проектов: Программа ФНИ IX.130, проект № 0346-2019-0003 при частичной поддержке РФФИ, проект № 17-05-00819 и интеграционного проекта ИИЦ СО РАН, блок 1.4; Программа IX.130.3, проект № 0350-2019-0032.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранова Н.М., Варшалл Г.М., Велюханова Т.К. (1991) Комплексообразующие свойства природных органических веществ и их роль в генезисе золоторудных месторождений. *Геохимия*. (12), 1799-1804.
- Бушлаева Е.Ю., Новгородова М.И. (1989) *Элементоорганические соединения в проблеме миграции рудного вещества*. М.: Недра, 1989, 151 с.
- Буряк В.А. (1966) *Генетические особенности золото-сульфидной минерализации центральной части Ленской золотоносной провинции. Вопросы генезиса и закономерности размещения золотого оруденения Дальнего Востока*. М.: Наука, 66-100.
- Буряк В. А., Хмелевская Н. М. (1997) Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования). Владивосток: Дальнаука, 156 с.
- Буряк В.А. (2000) Проблема генезиса черносланцевых толщ и развитого в них золотого, золотоплатинового и прочих видов оруденения. *Тихоокеанская геология*. **387**(4), 512-515.
- Васильева И.Е., Шабанова Е.В. (2012) Дуговой атомно-эмиссионный анализ для исследования геохимических объектов. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. **78**(1 (II)), 14-24.
- Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Дзюба А.А. (2018) Благородные металлы в образцах черных сланцев золоторудного месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь) по данным метода сцинтилляционной дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии. *Геология и геофизика*. **59**(8), 1238-1253.
- Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Корочанцев А.В., Тобелко К.И., Галузинская А.Х., Ахманова М.В. (1995) О связи сорбционной ёмкости углеродистого вещества пород по отношению к благородным металлам с его структурой. *Геохимия*. (8), 1191-1198.
- Вуд Б.Л., Попов Н.П. (2006) Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь) *Геология и геофизика*. **47**(3), 315-341.

- Винокуров М.А., Суходолов А.П. (1999) Экономика Иркутской области: в 2-х т. Иркутск: Изд-во ИГЭА: Изд-во ОАОНПО “Облмашинформ”, 312 с.
- Галимов Э.М. (1973) *Изотопы углерода в нефтегазовой геологии*. М.: Недра, 384 с.
- Дистлер В.В., Митрофанов М.А., Немеров В.К., Коваленкер В.А., Мохов А.В., Семейкина Л.К., Юдовская М.А. (1996) Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский золоторудный район). *Геология рудных месторождений*. **38**(6), 467-484.
- Дистлер В.В., Юдовская М.А. Развозжаева Э.А. (2003) Новые данные по платиновой минерализации золотых руд месторождения Сухой Лог (Ленский золоторудный район). *ДАН*. **393**(4), 524-527.
- Коновалов И.В. (1991) Эволюция метасоматических образований и золотоносность кварцевых жил одного из районов Западного Прибайкалья. *Метасоматические процессы в докембрийских толщах*. С.-Пб.: Наука, 178-196.
- Жмодик С.М., Миронов А.Г., Жмодик А.С. (2008) Золотоконцентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муйского пояса). Новосибирск: Академическое издательство “ГЕО”, 304 с.
- Карпенко И.А., Черемисин А.А., Куликов Д.А. (2008) Морфология, условия залегания и внутреннее строение рудных тел на месторождении Сухой Лог. *Руды и металлы*. (2), 11-26.
- Лаверов Н.П., Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К., Коваленкер В.А., Мохов А.В., Семейкина Л.К., Юдовская М.А. (1997) Платина и другие благородные металлы в рудах месторождения золота Сухой Лог. *ДАН*. **355**(5), 664-668.
- Мац В.Д., Ефимова И.М., Кульчицкий А.А. (2010) Древние долины Западного Прибайкалья (история формирования). *Геоморфология*. (2), 91-101.
- Немеров В.К., Станевич А.М., Развозжаева Э.А., Будяк А.Е., Корнилова Т.А. (2010) Биогенно-седиментационные факторы рудообразования в неопротерозойских толщах Байкало-Патомского региона. *Геология и геофизика*. (5), 729-747.
- Развозжаева Э.А. (2015) Геохимия углерода и благородных металлов в осадочно-метаморфических комплексах складчатого обрамления Сибирской платформы. Новосибирск: Издательство “Гео”, 135 с.
- Развозжаева Э.А., Спиридонов А.М., Таусон В.Л., Будяк А.Е. (2011) Формы золота в геополимерах углеродистых сланцев (Патомское нагорье, Восточная Сибирь) *Геохимия*. (9), 998-1004.
- Razvozhzaeva E.A., Spiridonov A.M., Tauson V.L., Budyak A.E. (2011) Modes of gold occurrence in carbonaceous shales at the Patom highland, Eastern Siberia *Geochem. Int.* **49** (9), 942-948.
- Руденко А.П., Кулакова И.И. (2006) *Генезис углеводородных флюидов и месторождений*. М.: ГЕОС, 68-83.
- Савельева В.Б., Данилова Ю.В., Шумилова Т.Г., Иванов А.В., Данилов Б.С., Базарова Е.П. (2019) Эпигенетическая графитизация в фундаменте Сибирского кратона – свидетельство миграции обогащенных углеводородами флюидов в палеопротерозое *ДАН*. **486**(2), 217-222.
- Савельева В.Б., Демонтерова Е.И., Данилова Ю.В., Базарова Е.П., Иванов А.В., Каменецкий В.С. (2016) Новый карбонатитовый комплекс в Западном Прибайкалье (юг Сибирского кратона): минеральный состав, возраст, геохимия и петрогенезис. *Петрология*. (3), 292-324.
- Тарасова Ю.И. (2016) Вещественный состав руд и пород месторождения Чертово Корыто, Восточная Сибирь. Металлогения древних и современных океанов-2016. От минералогенеза к месторождениям. Миасс: ИМин УрО РАН, (22), 192-196.
- Устинов В.И., Рыбаков В.Г. (1983) *К стратиграфии нижнего протерозоя центральной части Западного Прибайкалья. Стратиграфия докембрия региона Средней Сибири*. Л.: Наука, 60-67.
- Ханчук А.И., Бердников Н.В., Черепанов А.А., Коновалова Н.С. (2009) Тонкодисперсные золото и платиноиды в графитовых сланцах Буреинского массива – новый тип благороднометалльного оруденения на Дальнем Востоке России. *Горный информ.-аналит. бюл.* М.: МГУ (5), 9-18.
- Юдович Я.З., Кетрис М.П. (1991) Основные закономерности геохимии черных сланцев. Сыктывкар: Геонаука, 110 с.
- Ketris M.P., Yudovich Ya.E. (2009) Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. *Int. J. Coal Geology*. **78**(2), 135-148.
- Wedepohl K.H. (1967) *Geochemie* (Sammlung Göschen, Bd 1224-1224a/1224b), 220 p.