

О НАХОДКАХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ, ДРАГОЦЕННЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ В ПОРОДАХ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ) И СРАВНЕНИЕ ИХ С ИЗВЕСТНЫМИ РУДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ СЕВЕРО-ВОСТОКА РФ

В.Г. Сахно¹, А. В. Жабин², Ю.А. Кузнецов³, А.А. Дубков⁴

1 — Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

2 — Воронежский государственный университет

3 — АО «Приморзолото»

4 — «ВНИГНИ» Всероссийский научно-исследовательский нефтяной институт

DOI:10.24411/1997-8316-2020-11017

Аннотация: методами электронной микроскопии в керне скважин нефтесодержащих пластов Баженовской свиты Западной Сибири установлено присутствие элементов группы благородных металлов, а также рения. Проведено сравнение данных, полученных на энергодисперсионном анализаторе (ЭДС) электронного микроскопа для керна скважин Баженовской свиты, с породами золотосеребряных месторождений Востока РФ. Установлена корреляционная зависимость данных ЭДС с данными пробирного анализа, что позволяет не только оценивать по ним примерные содержания драгоценных металлов месторождений, но и предположить наличие высоких перспектив Баженовской свиты на обнаружение аналогичных объектов в разрезе этой свиты.

Ключевые слова: элементы платиновой группы, Баженовская свита, золотосеребряные месторождения, процессы «самосборки» наночастиц.

Жабин Александр Васильевич e-mail: zhabin01@gmail.com

ABOUT THE FINDING OF PLATINUM GROUP ELEMENTS, PRECIOUS AND RARE METALS IN ROCKS OF THE BAZHENOV FORMATION (WESTERN SIBERIA) AND THEIR COMPARISON TO KNOWN ORE OBJECTS IN THE NORTH-EAST OF RUSSIA

V.G. Sakhno¹, A.V. Zhabin² Yu.A. Kuznetsov³, A.A. Dubkov⁴

1 — Far East Geological Institute FEB RAS

2 — Voronezh State University

3 — JSC «Primorzoloto»

4 — «VNIGNI» Russian Scientific Research Petroleum Institute

Abstract: SEM analysis of core samples from the Bazhenov Formation of Western Siberia revealed presence of platinum group elements (PGE) and rhenium in the oil-bearing beds. The SEM values obtained with the help of energy dispersive spectroscopy technique have

been compared to the similar analyses of rocks of a number of gold-silver deposits of the Russian East which were accompanied also by assay data. A statistical relationship has been established between the EDS and assay data that not only allows the former to be used for estimating the deposit's precious metal possible contents, but suggests high prospects for the discovery within the Bazhenov Formation of analogous gold-silver deposits as well.

Key Words: PGE, Bazhenov Formation, gold-silver deposits, self-assembling of nanoparticles.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени известно, что значительная часть драгоценных металлов и элементов платиновой группы представлена ультрадисперсными, кластерными и ионными формами. Они могут составлять подавляющую часть в общем балансе ресурсного потенциала рудных объектов, содержащих эти элементы [2]. На ряде объектов Казахстана и России установлены на практике возможности «самосборки» – процесса концентрации таких ультратонкодисперсных, кластерных и других форм в макроформы, которые уже легко могут извлекаться посредством современных технологий [2, 3].

Известно, что основным критерием сохранности наноразмерных форм драгоценных минералов и платиноидов является приуроченность их к зонам ограниченной проницаемости, куда они попадают, вероятнее всего, в более благоприятных термобарических условиях (возможно при газовом переносе). И даже при изменении данных условий большая их часть сохраняется в матриксе вмещающих пород в закрытых микропорах, микротрещинах и т.п. в виде мельчайших частичек.

На месторождениях Казахстана, Приморья РФ, Иркутской области установлена тесная связь золота и платиноидов с углеродом. Возможно, углерод имеет органическое происхождение, как, например, в чёрных сланцах месторождений Казахс-

тана и на ряде объектов России [2, 5]. Кроме того, для всех объектов, на которые мы ссылаемся в данной работе и которые содержат минералы благородных металлов, установлена их связь с гидротермальной деятельностью при температурах 130–230°. Существование таких температур зафиксировано и в баженовской свите [11], представляющей собой комплекс нефтесодержащих пластов горных пород на территории Западной Сибири и занимающей площадь около миллиона км². Мощность

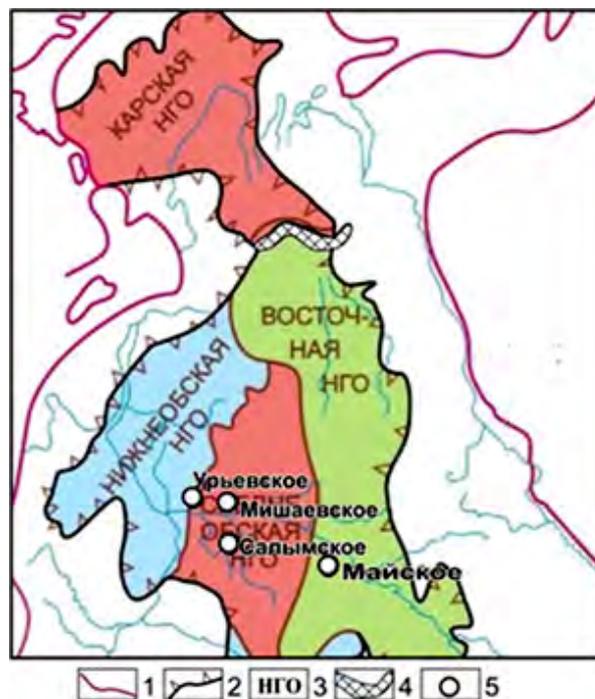


Рис. 1. Схема распространения баженовской свиты Западной Сибири

1 – геологические контуры Западно-Сибирской впадины; 2 – граница распространения баженовской свиты; 3 – отдельные нефтегазоносные области в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции; 4 – области размыва и отсутствия пород баженовской свиты; 5 – расположение скважин и исследованных пород баженовской свиты.

её отложений составляет 30 м и более. Под ней располагается толща юрских алевролитов и песчаников, залегающих на глубине 3–4 км. Её отличают от выше- и нижежащих толщ аномально высокие пластовые давления (от 350 до 460 атмосфер) и температуры (100–130 °С).

Геологический возраст этой свиты определяется в интервале 135–145 млн лет (титон – ранний неоком). Предполагается, что породы свиты подвергались интенсивным тектоническим преобразованиям либо в раннемеловую эпоху (130–120 млн лет назад), либо в позднемеловую эпоху (80–70 млн лет назад) [1].

Местоположение Мишаевского, Салымского, Урьевского и Майского месторождений, из которых отобраны образцы баженовской свиты, приведено на рис. № 1.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения золотосеребряных месторождений восточной окраины РФ были использованы минералогопетрографические методы исследований, включающие оптическую и электронную (в том числе и силовую) микроскопию. Для количественного определения золота, серебра, платины и рения использовался метод нейтронной активации. Для пород баженовской свиты, матрикс которой интенсивно насыщен битуминозным веществом, оптические методы менее эффективны. В нашем случае они, в отличие от рудных объектов, оказались эффективны только для изучения жильного материала и сульфидов в этой свите.

Количественные и полуколичественные методы из-за присутствия значительных объемов углерода без дорогостоящей подготовки проб к анализам не могут гарантировать качественных результатов по

драгоценным элементам [9]. Да и при проведении подготовки проб всегда остаётся сомнение в возможном внесении искажений в результатах. Поэтому для корректного сравнения получаемых данных и для золоторудных месторождений, и для исследуемого материала баженовской свиты все исследования проводились на одном электронном микроскопе ТМ-1000 Hitachi с энергодисперсионной приставкой EDS-SWIFT Oxford в ФГБУ «ВНИГНИ» (аналитик Дубков А.А.). Кроме стандартных эталонов элементов, используемых ЭДС этого микроскопа, в качестве эталонов на элементы платиновой группы, золота и рения (ЭПГ, Au и Re) была проведена его дополнительная проверка. Для этого применялись достоверно сертифицированные стандартные образцы (искусственные порошковые смеси) с малыми содержаниями ЭПГ (Pt, Pd, Rh), Au и Re, полученные в Лаборатории синтеза минералов ИЭМ РАН г. Черноголовка, проверенные на соответствие и однородность состава. Абсолютное отклонение этих данных и данных ЭДС составило: для Pt – (+) 0,023 весовых процента, для Pd – (–) 0,74%, для Rh – (+) 0,12%. Для Au – (–) 0,66%, Re – (+) 0,26%. Паспортные данные для абсолютных отклонений ЭДС энергодисперсионной приставки EDS-SWIFT Oxford, Великобритания для ЭПГ, золота и рения лежат в пределах 0,36–0,77 весовых процентов. Таким образом, с вероятностью 99,2%, значения, превышающие $\pm 0,8$ (а для большинства элементов –0,5) весовых процентов, для этих элементов являются значимыми.

Минеральный состав исследовался с помощью рентгенофазового дифрактометра ARL X'tra (Швейцария). Данный прибор представляет собой полноразмерный порошковый дифрактометр θ - θ геометрии

с радиусом гониометра 260 мм и источником – узкофокусной трубкой мощностью 2200 Вт (Cu аноды). В приборе использован энергодисперсионный твердотельный детектор с охладителем Пельтье, позволяющий исключить пассивные элементы (бета-фильтры/монокроматоры) из оптической схемы прибора за счет программного отделения $K\beta$ и флуоресцентного излучения. Для качественного фазового анализа использовали базу данных ICDD PDF-2, насчитывающую более 350 тысяч видов кристаллических соединений. Количественный рентгенофазовый анализ проводили с использованием ПО Siroquant Sietronics Pty Ltd.

Используя данные ЭДС электронного микроскопа, в породах баженовской свиты было установлено статистически значимое, повышенное содержание драгоценных металлов и рения (табл. 1). Аналогичные результаты приведены в работе [6]. Все эти металлы наблюдаются в объектах размером в первые микроны и менее. На рисунке 2 они образуют многочисленные самостоятельные скопления в алюмосиликатном матриксе. На рисунках 3 и 5 – вероятно, связаны с сульфидами, а на рисунке 4 показаны скопления таких образований в микротрещинах алюмосиликатов. На рисунке 5 их распределение приурочено к поверхности, возможно и к внутренним частям отмерших микроорганизмов. На рисунке 6 скопления видны на поверхности ступеней роста микрокристалликов жильного кальцита, который кристаллизовался из гидротермальных растворов при температурах от 118 до 210° [11]. Логично предположить, исходя из морфологии, что частицы, изображённые на рисунках 2, 5 и 6, образовались в сходных условиях гидротермальной системы. Связаны ли повы-

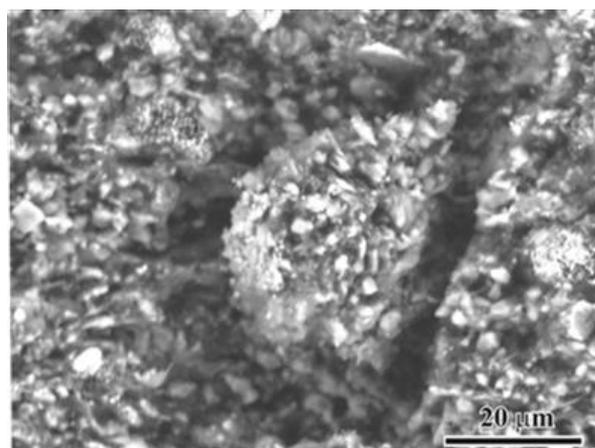


Рис. 2. Наноразмерные частицы (светло-серое), представленные двумерными агрегатами и плёнками, содержащими высокое количество драгоценных металлов на поверхности алюмосиликатного матрикса. Баженовская свита, месторождение Салымское. (Табл. 1(3)).

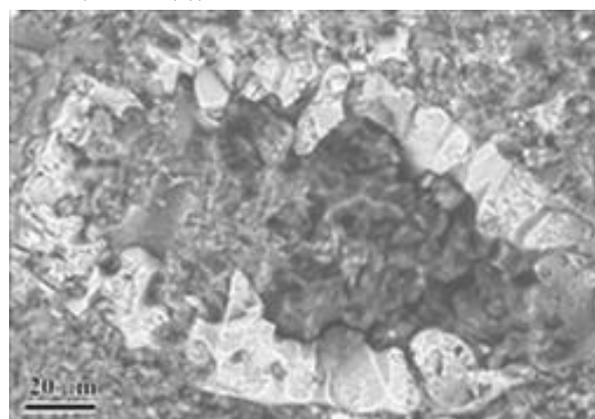


Рис. 3. Сульфиды железа (светло-серое, предположительно псевдоморфоза по органическим останкам) среди алюмосиликатного матрикса. Зафиксировано повышенное количество некоторых видов платиноидов. Баженовская свита, месторождение Мишаевское. (Табл.1 (1)).

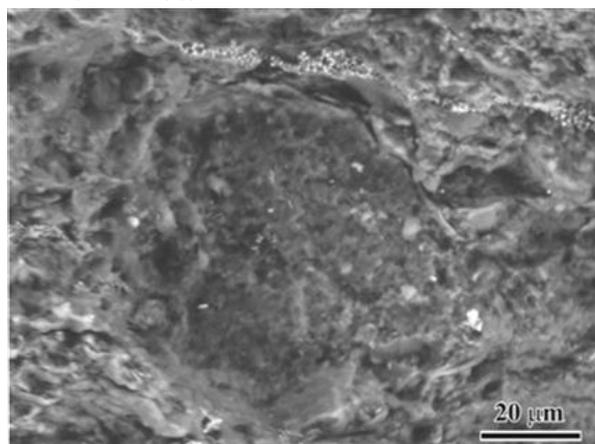


Рис. 4. Скопления кластерных форм серебра и некоторых видов платиноидов (светло-серое) в микротрещине алюмосиликатного матрикса. Баженовская свита, месторождение Майское (Табл.1 (9)).

шенные концентрации драгоценных металлов с сульфидами или с алюмосиликатным матриксом, окружающим их на снимках 3, 5, пока недостаточно ясно. Но по крайней мере, как это показано на рис. 6, часть из них связана с гидротермальным кальцитом или органическими остатками (судя по высоким содержаниям фосфора в этой пробе).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

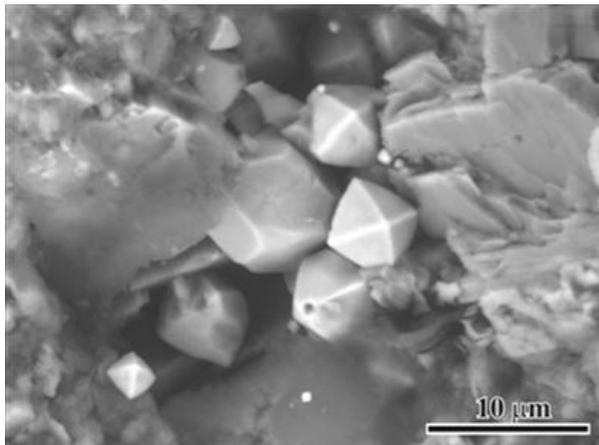


Рис. 5. Наномикросталлические формы сульфидов железа (светло-серое), в виде октаэдров и ромбододекаэдров среди алюмосиликатного матрикса. В их составе установлены повышенные содержания золота и платиноидов (Pt,Os). Баженовская свита, Мишаевское месторождение (Табл.1 (7)).

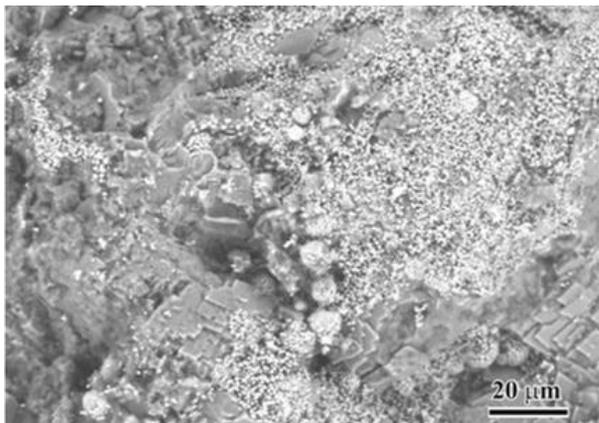


Рис. 6. Гидротермальный кальцит. Каплевидные (светло-серое) формы наночастиц, содержащие повышенное количество золота, рения и иридия. Баженовская свита, месторождение Урьевское (Табл.1 (7)). Для этой пробы характерно повышенное содержание фосфора и брома. Более тёмная часть снимка (со ступенчатой структурой) представлена жильным кальцитом, наличие которого в шлифе было предварительно зафиксировано на оптическом микроскопе Olympus BX 60.

Данные, приведённые в таблице 1, по баженовской свите и формы выделения драгоценных металлов в породах этой свиты весьма схожи с полученными нами ранее результатами при изучении ряда известных рудных месторождений золотосеребряного типа РФ. На одном из таких месторождений – Милоградовском – методом нейтронной активации было установлено наличие не только платины, но и рения. Образцы отобраны из проб, включённых в подсчёт запасов, для которых были известны содержания золота в граммах на тонну, установленные пробирным методом. Кроме того, достоверность наличия Au, Ag и платиноидов была подтверждена не только химическими анализами, но и их находками на других типах электронных микроскопов в ДВГИ РАН, МИСИС, а главное – проведённой успешной «самосборкой» макрочастиц платины из её наночастиц. Притом что никакие анализы, кроме электронной микроскопии и метода нейтронной активации, наличия её не фиксировали или показывали содержания на уровне порога обнаружения.

Эти компоненты ранее, чем образцы баженовской свиты, также были изучены на электронном микроскопе ТМ-1000, Hitachi, Япония, с энерго-дисперсионной приставкой EDS-SWIFT, Oxford, Великобритании в ФГБУ «ВНИГНИ». Именно эти данные сравнивались с аналогичными по баженовской свите.

В таблице 1, где все зафиксированные приставкой элементы нормированы к 100%, сразу обращает на себя внимание высокое содержание драгоценных элементов и рения. Конечно, эти данные не могут определять их количественный состав в граммах на тонну в прямом виде. Однако авторами настоящей работы для рудных объектов давно была отмечена

Таблица 1.
Данные ЭДС о содержаниях элементов в породах баженовской свиты (в весовых %).

Компонент п/п	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe	As	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	P	Br	In
Мишавское																								
1	0.9	1.3	10.3	58.4	9.9	4.9	0.8	0.9	7.1	–	–	–	–	–	–	–	3.7	–	1.8	–	–	–	–	–
2	0.6	1.9	23.3	52.7	5.0	6.0	0.9	1.0	3.1	0.7	–	–	–	1.8	–	–	–	1.6	1.5	–	–	–	–	–
3	–	1.0	16.6	62.0	3.1	4.9	0.6	0.9	1.2	0.7	–	0.6	0.6	0	–	–	4.3	1.6	0.8	1.0	–	–	–	–
4	0.6	0.6	9.7	38.2	19.4	4.2	0.6	–	7.5	0.5	3.1	1.4	0.5	1.1	–	–	4.0	2.0	2.9	3.8	–	–	–	–
5	0.8	0.5	11.9	44.8	6.9	3.5	1.4	0.6	6.3	1.3	–	–	–	1.5	0.7	–	9.6	3.6	1.3	5.4	–	–	–	–
6	1.6	1.2	9.4	51	9.4	4.1	0.8	–	5.5	–	–	1.9	2.5	0.6	2.1	6.5	–	2.4	1.0	–	–	–	–	–
7	0.6	0.3	8.1	57	8.9	5.0	0.7	1.9	6.4	–	–	–	1.1	2.5	–	–	2.2	–	3.4	1.8	–	–	–	–
8	0.7	1.1	7.5	48.7	14.6	4.6	0.7	0.7	16.7	–	0.9	–	–	–	–	0.5	1.4	–	1.8	–	–	–	–	–
9	–	1.3	13.7	66.1	6.2	2.3	–	–	1.9	–	1.0	0.6	–	–	–	–	2.8	1.1	0.7	2.4	–	–	–	–
10	1.4	1.5	12.7	54.1	8.7	3.7	1.6	0.9	9.7	–	–	–	–	0.7	–	–	–	3.8	0	1.3	–	–	–	–
Сальмское																								
1	–	3.7	62.5	19.2	7.1	0.9	0.5	–	3.2	–	–	0.7	–	0.9	–	–	–	–	1.2	–	–	–	–	–
2	0.5	1.9	21.3	14.3	24.9	0.7	0.6	–	15.5	–	3.2	2.4	1.3	1.4	–	0.5	3.9	–	4.7	2.9	–	–	–	–
3	0.9	1.7	23	44.7	11.8	1.5	0.3	0.6	6.7	–	–	–	–	–	–	–	1.6	2.5	1.4	3.2	–	–	–	–
4	1.2	0.7	15.3	34.7	11.8	1.0	–	–	5.6	2.1	3.7	1.9	1.2	1.5	0.5	–	5.9	1.9	6.6	–	4.4	–	–	–
5	0.6	0.2	10.6	42.4	15.4	2.0	1.0	0.8	22.5	0.7	–	0.7	–	0.5	–	–	–	–	2.6	–	–	–	–	–
6	–	1.1	14	44.2	13.8	1.8	1.0	–	7.6	–	–	3.5	–	2.1	–	–	3.3	2.5	2.4	2.6	–	–	–	–
7	–	1.9	23	47	11.4	1.9	–	–	8.8	–	1.3	1.7	–	0.7	1.1	1	–	–	–	–	–	–	–	–
8	1.3	1.5	18.3	37.4	10.6	1.7	–	–	4.7	–	–	–	2.6	0.9	3.8	7.1	–	5.9	3.1	–	1.1	–	–	–
9	1.3	2.9	27	36.1	10.3	2.4	0.8	–	4.3	–	–	0.7	0.6	3.2	3.5	2.9	–	–	3.8	–	–	–	–	–
10	–	0.8	26.8	41.9	8.7	–	–	–	8.8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.0	–	6.0	–	–	–
Урьевское																								
1	–	–	11.7	47.6	7.0	4.0	–	1.3	4	1.7	–	1.1	1.2	–	0.6	–	14.6	–	5.1	–	–	–	–	–
2	–	0.9	5.9	73.3	3.9	2.0	1.1	–	1.7	–	–	0.9	1.2	–	–	–	6.4	1.2	1.6	–	–	–	–	–
3	2.0	0.9	12.9	37.3	5.8	2.2	0.9	1.3	3.9	–	–	1.3	1.1	2.1	3.5	–	16.4	–	8.6	–	–	–	–	–
4	1.8	–	15.1	46.2	7.7	3.7	2.4	–	2.5	3.8	–	2.2	–	2.3	0.9	–	4.5	0.9	2.2	3.7	–	–	–	–
5	2.6	1.4	12.6	54	5.9	4.8	2.8	0.7	4.6	–	–	–	2.0	1.3	–	–	3.9	3.5	–	–	–	–	–	–
6	–	–	10.9	42.1	8.6	3.7	1.6	–	4.6	–	6.2	3.3	–	1.6	–	1.1	0.8	5.1	–	10.4	–	–	–	–
7	–	–	8.7	31.7	7.3	5.3	1.5	1.2	9.4	1.0	5.4	2.6	2.7	–	–	7.9	–	7.3	–	8.1	–	–	–	–
8	1.7	1.5	11.3	45.6	8.3	3.1	0.9	0.6	5.3	–	–	–	–	1.9	–	–	6.9	4.4	2.3	6.4	–	–	–	–
9	–	1.4	8.6	45.3	6.3	3.7	0.8	–	3.5	–	–	–	5.6	1.5	1.3	2.3	7.8	–	5.1	–	–	–	6.8	–
10	–	2.1	13.7	44.9	13	1.8	3.0	–	10.4	0.9	–	–	–	1.7	–	2.1	0.7	–	5.8	–	–	–	–	–
11	1.1	1.4	9.7	48.4	13.7	5.9	1.8	1.4	9.5	–	–	–	–	–	–	–	4.1	–	3.1	–	–	–	–	–
12	0.7	1.2	2.7	32.4	6.4	3.9	17.8	0.6	3.9	–	1.1	–	–	–	–	3.3	–	1.5	0	3.4	–	14.1	7.0	–
13	0.6	1.0	5.6	60.0	3.4	3.0	0.9	–	2.0	–	–	–	–	2.2	–	–	6.3	–	4.3	–	–	–	9.6	1.1
14	–	–	15.9	55.9	10.1	2.1	2.0	–	6.7	2.0	–	–	–	–	0.9	4.4	–	–	–	–	–	–	–	–
15	–	2.2	11.1	36.2	5.4	5.1	1.8	–	7.5	–	–	–	–	0.7	1.2	11.0	–	10.0	3.2	2.5	–	–	–	2.1
16	2.8	2.2	18.3	29.7	6.2	2.3	1.9	0.6	7.9	–	4.8	3.5	2.8	3.2	2.0	1.7	2.9	0.6	5.3	1.4	–	–	–	–
Майское																								
1	–	–	17.2	36.7	5.9	5.2	–	–	5	2.1	5	1.4	1.7	2	1.7	4.7	–	5.9	0	5.5	–	–	–	–
2	–	2.2	23.9	27.1	5.0	3.0	–	–	4.4	–	–	5.9	5.1	–	2.3	5.6	–	10.6	0	4.8	–	–	–	–
3	1.5	1.9	15.1	30.1	5.5	4.3	–	1.4	7.7	2.2	3.1	1.3	0.9	1.2	–	2.9	3.7	5.6	3.1	8.5	–	–	–	–
4	1.2	2.1	14.6	47.5	5.8	5.8	1.3	1.2	8.0	1.0	–	–	1.5	–	1.7	6.7	–	1.7	–	–	–	–	–	–
5	1.0	–	12.4	42.8	–	4.8	0.6	–	6.2	2.4	–	3.0	2.9	1.4	0.8	3.0	–	–	4.2	–	–	–	14.5	–
6	1.1	1.7	17.6	30.8	3.6	3.9	0.7	–	5.3	–	–	–	2.8	2.4	2.4	11.4	–	8	–	8.3	–	–	–	–
7	0.8	2.0	7.9	32.1	6.3	4.2	–	1.1	8.7	–	–	–	0.6	1.3	–	10.4	–	11.7	–	5.4	–	–	7.6	–
8	1.6	1.7	12.6	42.6	10.2	3.7	0.6	0.7	11.5	–	–	0.9	0.4	–	1.1	4.8	–	2.4	2.9	–	–	–	2.4	–
9	1.7	1.6	33.4	35.6	–	2.3	1.2	1.0	2.6	–	–	1.1	4.1	5.0	6.7	–	3.7	–	–	–	–	–	–	–
10	–	2.7	27.9	42.5	4.4	2.2	–	1.1	4.2	–	–	–	–	0.7	1.9	8.9	–	–	3.5	–	–	–	–	–

Таблица 2.
Средние содержание драгоценных металлов
в рудных месторождениях золотосеребряного типа по данным ЭДС

Месторождения	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Au	Ag
Милоградово	–	–	0.8	–	–	0.9	0.7	3.9
Павлик	–	0.6	0.8	–	–	0.2	0.5	0.3
Купол	0.7	0.8	0.6	3.8	3.1	2.1	1.8	1.1
Двойное	0.6	1.0	1.2	4.2	2.7	2.2	2.3	0.8
Сентябрьское	1.2	1.0	1.0	2.6	0.9	2.3	1.7	0.4
Глухое	0.2	0.6	0.5	1.5	1.9	1.3	1.8	0.1

на связь интенсивности показаний ЭДС энергодисперсионной приставки EDS-SWIFT, Oxford с данными (для этих же проб) по пробирному анализу. Это можно объяснить тем, что при изучении проб исследовался весь матрикс породы, а не отдельные минералы, так же как и в пробирном анализе определяется содержание золота во всей массе породы. Иными словами, хоть определить наличие драгоценных металлов с помощью электронного микроскопа можно лишь качественно, всё-таки уровень возможных их содержаний, как нам представляется, оценивается довольно точно. Поэтому нами уже давно осуществляется (как экспресс-метод) на электронном микроскопе ТМ-1000, оснащённом энергодисперсионной приставкой EDS-SWIFT, выборка интересных образцов, в которых ожидаются повышенные содержания драгметаллов как для выделения их в тяжёлую фракцию, так и для изучения наноструктур.

Для золота и серебра наблюдается чёткая положительная корреляция между данными ЭДС и данными пробирного анализа. Коэффициент корреляции по золоту положителен и равен 0,83. По серебру он ещё выше – 0,98. Основываясь на опыте просмотра большого количества исследованных образцов по рудным месторождениям, при получении интенсив-

ных значений ЭДС по золоту (превышающих уровень в 1%) практически всегда можно не только уверенно его найти в исследуемом образце, но и приблизительно оценить форму, в какой оно находится – самородной, сульфидной, интерметаллической и т. п.

При совместном анализе таблиц 1 и 2 видно, что содержания драгоценных металлов в исследованных нами пробах баженновской свиты (табл. 1) могут превышать соответствующие значения в промышленных объектах (табл. 2). При анализе таблицы 3, данные о минеральном составе исследованных образцов которой получены с помощью дифрактометра ARL X'tra (Швейцария), следует помнить, что минеральный состав проб силикатной и сульфидной части пород соответствует (качественно и количественно) давно известным (по данным оптической микроскопии) для баженновской свиты минералам. Дополнительно были выявлены минеральные формы серебра и большинства видов платиноидов, для которых имеются (в базе данных дифрактометра) соответствующие характеристики. Ошибка количественного определения весового содержания определяемого минерала дана в правом столбце этой таблицы.

Что же касается золота, иридия и рения, наличие которых постоянно фикси-

Таблица № 3.
Данные рентгенофазового анализа

Майское 413-41

Phase	Weight (%)	ErrorofFit
Quartz	43,1	0,56
Albite, low	18,6	0,45
Muscovite	10	0,59
Pyrite	8,1	0,16
Orthoclase 1	6,5	0,4
Illite 1	5	0,52
Kaolin	2,2	0,35
Biotite	1,8	0,34
Silversulphidebeta 186°	1,5	0,17
Calcite 2	1,1	0,18
Dolomite	0,8	0,23
Rhodiumdioxide	0,5	0,06
Chlorite	0,2	0,33
Osmiumdioxide	0,2	0,03
Rutheniumdioxide	0,1	0,07
Osmiumdiselenide	0,1	0,04
Osmiumdisulphide	0,1	0,03
Silversulphate	0,1	0,08

Урьевское 24

Phase	Weight (%)	ErrorofFit
Quartz	50,9	0,57
Pyrite	14,1	0,19
Albite, low	12,2	0,37
Muscovite	7,7	0,53
Illite 1	5	0,47
Orthoclase 1	3,4	0,37
Dolomite	1,4	0,21
Kaolin	1,2	0,32
Calcite 2	0,9	0,16
Silversulphidebeta 186°	0,7	0,16
Chlorite	0,7	0,31
Ankerite	0,4	0,17
Glauconite	0,4	0,17
Osmiumdisulphide	0,3	0,03
Rhodiumselenide	0,3	0,06
Rhodiumdioxide	0,2	0,05
SilverSulphide, low	0,2	0,1

Мишаевское М 184-15

Phase	Weight (%)	ErrorofFit
Quartz	58,1	0,5
Pyrite	13,9	0,15
Albite, low	9,6	0,32
Muscovite	6,9	0,44
Illite 1	3,9	0,39
Orthoclase 1	3,7	0,31
Kaolin	1	0,25
Glauconite	1	0,14
Silversulphidebeta 186°	0,8	0,13
Osmiumdisulphide	0,4	0,02
Rhodiumdioxide	0,3	0,04
Rutheniumdioxide	0,2	0,05
Platinumdiarsenide	0,1	0,03
Osmiumdioxide	0,1	0,02

руется в таблицах 1, 2, то их минеральные формы не установлены. Вероятнее всего, они не являются кристаллитами, следовательно, не могут быть определены методом рентгенофазовой дифракции. Наиболее вероятно, что они входят в состав металлоорганических соединений.

Дополнительным подтверждением правоты таких соображений служат факты обнаружения нами наноразмерных форм платиноидов на Милоградском рудопроявлении [8]. Несколько позже их количественная характеристика была определена с помощью метода ядерно-нейтронной активации, а также осуществлена их успешная «самосборка» в извлекаемые и изученные макроформы [3]. Как результат – увеличение показаний содержаний от уровня, бывшего до этого ниже «уровня определения» стандартными для платиноидов методиками, до 5,6 г/т для Pt и 0,2 г/т для Pd после их «самосборки».

Вероятно, что не только для золота, но и для платиноидов и рения существует функциональная (возможно линейная) зависимость между содержаниями в граммах на тонну и показаниями энергодисперсионной приставки EDS-SWIFT, Oxford.

Если это так, а такое предположение подтверждается и другими авторами [6], изучавшими баженовскую свиту, то даже «сухие» для углеводородов горизонты этой свиты нуждаются в проверке на данные металлы. Так как они могут оказаться продуктивными для благородных, радиоактивных и редких металлов.

Слабыми звеньями в цепи реализации этих рассуждений, даже в случае их полного подтверждения, являются отсутствие и/или труднодоступность достоверных количественных методов определения полезных компонентов, концентрирующихся

в рудах в виде наноформ. Это справедливо и для рудных объектов, и для пород баженовской свиты. Пока отсутствуют системы оценочных критериев выделения рудных районов и узлов такого типа. Нет и методик разведки такого типа месторождений. Для рудных и нефтяных месторождений густота разведочной сети и вес керновых проб являются несопоставимыми величинами. Естественно, самое слабое звено – отсутствие даже приблизительных технологических схем извлечения металлов с глубоких горизонтов свиты, которые к тому же обладают аномально высокими температурами и давлениями. Объяснение возможных технологических схем извлечения этих компонентов для рудных объектов и их перевода из метастабильного в стабильное состояние частично освещено в работе [3]. Для баженовской свиты всё надо начинать с нуля. От получения керновых проб требуемого методиками веса и навесок для пробирного анализа до модификации нейтронных методов каротажа применительно к условиям «сухих» интервалов в баженовской свите для фиксации наличия драгоценных металлов. Но и объёмы объектов в свите, наличие которых, в случае успешного решения данных проблем, могут оказаться несопоставимыми с масштабами рудных месторождений даже такого гиганта в черносланцевой формации как Сухой Лог, условия образования которого близки к условиям развития баженовской свиты [5].

Конечно, термин «black shales» (чёрные сланцы), в петрографическом смысле этого слова, к породам баженовской свиты можно применять лишь условно, по значительной доле свободного углерода. Однако он прочно утвердился в англоязычной геологической литературе. Для рудных «чёрных сланцев», в которых содержание благород-

ных металлов давно известно, установлена их связь со свободным углеродом [8, 12, 13, 14]. Такая же связь, по крайней мере для золота, для пород баженовской свиты подтверждается данными из работы [6].

Проверку предположения об истинных или близких к ним содержаниях в граммах на тонну для баженовской свиты, где получение необходимых объёмов ядерного материала, требуемого для рудной геологии, проблематично, вполне можно осуществить методом нейтронной активизации. Такие исследования проводились на объектах баженовской свиты ряда месторождений Томской области [6] для радиоактивных и редкоземельных элементов. А для рудных объектов высокую эффективность метода нейтронной активизации показали Ханчук А.И. и др. [10]. Реально определить этим методом можно содержания таких элементов, как золото, серебро, платина, рений и уран. Период полураспада других платиноидов велик и для анализа не подходит.

ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ, ОСНОВАННЫЕ НА РЕЗУЛЬТАТАХ РАБОТ В СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЯХ НАУК

В работах химиков, изучающих наночастицы в составе полимеров и металлоорганических соединений, убедительно показано, что они и в отдельных частицах, и в полимерах образуют огромный ряд сложных по составу соединений [4]. В работах специалистов, изучающих состав и свойства таких частиц, чётко обосновывается и то, что наночастицы всех драгоценных металлов (особенно размером менее 5 микрон) имеют другие физические и химические свойства, совершенно не соответствующие константам их

макроаналогов. Поскольку они находятся в так называемом метастабильном состоянии, их температуры плавления и кипения в разы ниже, чем у макроаналогов, а число их возможных химических соединений очень велико. Но в геологии (пока) нет даже методики выделения групп таких соединений.

ВЫВОДЫ

1. В баженовской свите из-за сочетания многих благоприятных факторов кроме углеводородов различного состава присутствуют и повышенные концентрации драгоценных и редких металлов. Количество их могут оказаться промышленно значимыми.
2. Есть значительная вероятность получения аналогичных результатов для пород других нефтегазоносных толщ, палеотемпературы которых соответствовали значениям, типичным для гидротермального процесса.
3. В случае подтверждения их промышленной значимости не только ресурсы, но и запасы драгоценных элементов на много порядков могут превысить запасы самого крупного в России месторождения в чёрных сланцах – Сухого Лога.
4. Исследования объектов, содержащих драгоценные металлы, с помощью сканирующей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и методов ядерной активации позволят приблизиться к пониманию путей разработки технологических схем извлечения драгоценных и редких элементов не только из баженовской свиты, но и из рудных объектов, в которых даже возможность наличия промышленных содержаний платиноидов не рассматривается.

Л и т е р а т у р а

1. Иванов К. С., Коротеев В. А., Печоркин М. Ф., Фёдоров Ю. Н., Ерохин Ю. В. История геологического развития и строение фундамента западной части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Геология и геофизика. – 2009. – Т.50. – № 4. – С. 484–501.
2. Матвиенко В. Н., Ненахов В. М., Калашников Ю. Д., Левин В. Л. Роль природных кластеров благородных металлов как источника рудного вещества при формировании месторождений // Вестник Воронежского университета. Серия Геолог. – 2018. – № 3. – С. 36–49.
3. Ненахова Е. В., Сахно В. Г., Калашников Ю. Д., Ненахов В. М., Кузнецов Ю. А. Самосборка нанодисперсных форм платиноидов как метод их извлечения на примере золотосеребряных руд Милоградского проявления // Вестник Воронежского университета. Серия Геолог. – 2018. – № 4. – С. 102–106.
4. Помогайло А. Д., Розенберг А. С., Уфлянд И. Е. Наночастицы металлов в полимерах. – М.: Химия, 2000. – 672 с.
5. Попов Н. П. Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь) // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. – № 3. – С. 315–341.
6. Рихванов Л. П., Усольцев Д. Г., Ильенок С. С., Ежова А. В. Минералого-геохимические особенности баженовской свиты Западной Сибири по данным ядерно-физических и электронно-микроскопических методов исследований // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 1. – С. 50–63.
7. Сахно В. Г. Позднемезозойско-кайнозойский континентальный вулканизм Востока Азии. – Владивосток: Дальнаука. – 2002. – 336 с.
8. Сахно В. Г., Кузнецов Ю. А., Баринов Н. Н., Пипко М. С. Первые данные о находке самородной платины в породах золотосеребряного рудопроявления Милоградской вулcano-структуры Южного Приморья (Россия) // ДАН. – 2014. – Т. 454. – № 5. – С. 570–574.
9. Ханчук А. И., Плюснина Л. П., Руслан А. В., Михайлов Г. Г., Баринов Н. Н. Природа графитизации и благороднометальной минерализации в метаморфитах северной части Ханкайского массива, Приморье // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 65. – № 4. – С. 261–281.
10. Ханчук А. И., Авдеев Д. В., Бердников Н. В., Коновалов Н. С., Черепанова А. А. Первые находки видимых платиноидов в черносланцевых толщах Буреинского массива // ДАН. – 2013. – Т. 426. – № 5. – С. 672–675.
11. Эдер В. Г., Костырева Е. А., Юрченко А. Ю., Балущкина Н. С., Сотнич И. С., Козлова Е. В., Замирайлова А. Г., Савченко Н. И. Новые данные о литологии, органической геохимии и условиях формирования баженовской свиты Западной Сибири // Георесурсы. – 2019. – 21(2). – С. 129–142.
12. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Мерц А. В. Геохимия и рудогенез золота в черных сланцах. – Сыктывкар: Геонаука, 1990. – 59 с.
13. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Элементы-примеси в черных сланцах. – Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. – 304 с.
14. Юдович Я. Э. Черные сланцы в рудогенезе золота: ресурс или барьер? // Минеральное сырье Урала. – 2009. – № 6 (72). – С. 3–11.