

УДК 552.323.5

DOI: [10.46698/VNC.2020.37.45.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.37.45.001)

Оригинальная статья

О возможности обнаружения промышленного ранне-среднеюрского полиметаллически- золото-платиноидного оруденения черносланцевого типа в Северной Осетии (Часть 1)

А. Г. Гурбанов^{1, 2}, А. Я. Докучаев¹, А. Б. Лексин¹, В. М. Газеев^{1, 2},
О. А. Гурбанова³, А. Б. Лолаев^{2, 4}, А. Х. Оганесян^{2, 5}

¹Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: gurbanov@igem.ru;

²Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22, e-mail: gazeev@igem.ru;

³Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ФГБОУ высшего образования Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (МГУ), Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1;

⁴Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ФГБОУ высшего образования Северо-Осетинский государственный университет имени К. Л. Хетагурова, Россия, 362025, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Ватутина, 44-46;

⁵Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ФГБОУ высшего образования Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет) (СКГМИ, ГТУ), Россия, 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Статья поступила: 03.08.2020, после рецензирования: 16.09.2020, принята к публикации: 01.10.2020

Резюме: Актуальность исследований. Статья посвящена проблеме выявления характера и причин платино- и палладиеносности золоторудных месторождений: 1) в докембрийских черносланцевых и углеродосодержащих толщах Центральной зоны Северного Тянь-Шаня; 2) на Урале, где промышленно значимая золотоносность связана с колчеданосными структурами и вещественными комплексами наложенных вулкано-плутонических поясов активной континентальной окраины; 3) на северо-востоке Азии и Дальнем Востоке, где сиалический профиль областей генерации магматических расплавов, в целом, обусловил их региональную геохимическую оловянно-благороднометалльную специализацию; 4) в черносланцевых толщах тимоского типа на железорудных месторождениях-гигантах Курской магнитной аномалии (КМА) и Воронежского кристаллического массива (ВКМ) Центральной России. Важнейшим компонентом железистых кварцитов КМА, ВКМ, а также сформировавшихся по ним залежей богатых железных руд доверхневизейской коры выветривания и промпродуктов горнорудных предприятий явля-

ются благородные металлы, ставшие одним из крупнейших нетрадиционных источников селективной и попутной золото-платинодобычи; 5) на Северном Кавказе в девонских черных сланцах р. Большая Лаба были обнаружены минералы самородной платины; установлена их платиноносность и перспективность обнаружения в них промышленно значимых рудных объектов. Результаты комплексных исследований девонских черных сланцев зоны Передового хребта Северного Кавказа показали, что существует единый ультрабазитовый источник как для Au, так и для Pt, Pd. Минеральные формы группы платиноидов в черных сланцах и в магматических породах часто устанавливаются только при микронзондовых или электронно-микроскопических исследованиях. **Цель исследований** – расширение минерально-сырьевой базы Южного Федерального округа РФ на благородные металлы. **Методы исследования** – проведение в пределах Авсандур-Ламардонского рудного поля и Фиагдонского хвостохранилища представительного опробования рудных тел, вмещающих их пород и материала хвостохранилища; их анализ количественными методами (пробирный и ICP MS анализы) для определения содержаний золота, платины и ЭПГ. **Полученные результаты и их обсуждение.** До 2019 г. считалось, что на Северном Кавказе потенциально рудоносными на благородные металлы являются только углеродсодержащие девонские черные сланцы. Однако, при проведении минералого-геохимических исследований количественными методами (XRF, ICP MS) промышленных отходов Фиагдонской обогатительной фабрики, перерабатывавшей руды Какадур-Ханикомского и Кадат-Хампаладагского полиметаллических месторождений, расположенных в полосе развития углеродсодержащих черных аргиллитов ниже-среднеюрского возраста, впервые были выявлены повышенные концентрации благородных металлов (в г/т): Au – от 0,05 до 0,35; Pd – от 0,042 до 0,049; Pt – от 0,07 до 1,29. Анализ четырех проб аргиллитов из разных частей разреза толщи черных аргиллитов выявил в них вариации содержания (в г/т): Pd – от 0,003 до 0,01; Pt – от 0,002 до 0,01; Au – от 0,01 до 0,05; Ag – от 0,01 до 1,87; P – от 522 до 788; Cr – от 84 до 94; V – от 141 до 156; Ni – от 13 до 48; Cu – от 56 до 157; Zn – от 79 до 132; Pb – от 567 до 2546; As – от 133 до 502; Ba – от 362 до 432, что свидетельствует о высокой металлоносности рудовмещающей черносланцевой толщи. Полученные данные позволяют считать, что в пределах Авсандур-Ламардонского рудного поля выявлен новый для Северного Кавказа ранне-среднеюрский черносланцевый благороднометалльный с полиметаллами тип оруденения.

Ключевые слова: полиметаллическое и золото-сульфидно-кварцевое с ЭПГ оруденение; металлогенической зоны; золото-платиновый черносланцевый тип оруденения, Северный Кавказ.

Для цитирования: Гурбанов А. Г., Докучаев А. Я., Лексин А. Б., Газеев В. М., Гурбанова О. А., Лолаев А. Б., Оганесян А. Х. О возможности обнаружения промышленного ранне-среднеюрского полиметаллически-золото-платиноидного оруденения черносланцевого типа в Северной Осетии (часть 1). *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 10 (4): 6 – 29. DOI: 10.46698/VNC.2020.37.45.001.

Благодарности: Работа подготовлена при поддержке гос. темы регистрационный номер АААА-А19-119040190054-8 в КНИО ВНЦ РАН.

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

DOI: [10.46698/VNC.2020.37.45.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.37.45.001)

Original paper

On the possibility of detecting of industrial Early-Middle Jurassic polymetallic-gold-platinoid mineralization of the black-shale type in North Ossetia (Part 1)

A. G. Gurbanov^{1,2}, A. Ya. Dokuchaev¹, A. B. Lexin¹, V. M. Gazeev^{1,2},
O. A. Gurbanova³, A. B. Lolaev^{2,4}, A. Kh. Oganesyanyan^{2,5}

¹Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, 35 Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russian Federation, e-mail: gurbanov@igem. ru;

²Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 22 Markusa Str., Vladikavkaz 362027, Russian Federation, e-mail: gazeev@igem. ru;

³Lomonosov Moscow State University, 1 Lenin Hills, Moscow 119991, Russian Federation,;

⁴North Ossetian State University after K. L. Khetagurov, 44-46 Vatutina Str., Vladikavkaz 362025, Russian Federation;

⁵North Caucasian institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Ministry of Sciences and Higher Education of Russian Federation. 44 Nikolaeva str., Vladikavkaz 362021, Russian Federation

Received: 03.08.2020, revised: 16.09.2020, accepted: 01.10.2020

Abstract: Relevance. The Article is devoted to the problem of identifying the nature and causes of platinum- and palladienne gold deposits: 1) in Precambrian black shale and carbonaceous strata of the Central zone of the Northern Tien Shan; 2) in the Urals, where the industrial significant gold is associated with island-arc formation and complexes superimposed volcano-plutonic belts of active continental margin; 3) in the North-East of Asia and the Far East, where the sialic profile of magmatic melt generation areas, in general, caused their regional geochemical tin-noble metal specialization; 4) in the black-shale strata of the Timos type on the iron ore deposits-giants of the Kursk magnetic anomaly (KMA) and the Voronezh crystal massif (VCM) of Central Russia. The most important component of ferruginous quartzites of KMA, VCM and the deposits of rich iron ores formed on them in the upper-veisean crust of weathering and giant industrial products of mining enterprises are precious metals, which have become one of the largest non-traditional sources of selective and associated gold and platinum mining of the XXI century; 5) in the North Caucasus in the Devonian black shales of the Bolshaya Laba river minerals of native platinum were discovered, their platinum-bearing properties and prospects for detecting industrially significant ore objects in them were established. The results of complex studies of Devonian black shales in the zone of the Advanced ridge of the North Caucasus have shown that there is a single ultrabasic source for both Au and Pt, Pd. Mineral forms of the platinoid group in black shales and igneous rocks are often established only by microprobe or electron microscopic studies. **The aim of the research** is to expand the mineral resource base of the southern Federal district of the Russian Federation for precious metals. **Research methods** – conducting targeted representative testing of ore bodies, their host rocks and tailings material within the Avsandur-Lamardon ore field and the Fiagdon tailings reservoir, and their subsequent analysis by quantitative methods (assay and ICP MS analyses) to determine the gold content, platinum and EPG. **Results and discussion.** Until 2019, it was believed that in the North Caucasus, only carbon-containing Devonian black shales were potentially ore-bearing for precious metals. However, during the mineralogical and geochemical studies with quantitative methods (XRF and ICP MS) of industrial waste of the Fiagdon tailing pond, processing ores of the Kakadur-Khanikom and Kadat-Khampaladag polymetallic deposits located in the strip of development of carbonaceous black mudstones of lower Jurassic age, was first revealed elevated concentrations (in g/t) precious metals: Au – 0.05 to 0.35; Pd – from 0.042 to 0.049; Pt – from 0.07 to 1.29. Analysis of 4 samples of mudstones from different parts of the section of the lower-middle Jurassic black mudstone thickness revealed variations in their content (in g/t): Pd – from 0.003 to 0.01; Pt – from 0.002 to 0.01; Au – from 0.01 to 0.05; Ag – from 0.01 to 1.87; P – from 522 to 788; Cr – from 84 to 94; V – from 141 to 156; Ni – from 13 to 48; Cu – from 56 to 157; Zn – from 79 to 132; Pb – from 567 to 2546; As – from 133 to 502; Ba – from 362 to 432, which strongly indicates the high metal content of the ore-bearing black-shale strata. The data obtained, with high probability, allow us to assume that within Avsandur-Lamardon field identified a new for the North Caucasus of the early-middle Jurassic black shale with precious-metal polymetallic type mineralization.

Keywords: polymetallic and gold-sulfide-quartz mineralization with EPG, metallogenic zone; gold-platinous black-shale type of mineralization, North Caucasus.

For citation: Gurbanov A. G., Dokuchaev A. Ya., Lexin A. B., Gazeev V. M., Gurbanova O. A., Lolaev A. B., Oganessian A. Kh. On the possibility of detecting of industrial Early-Middle Jurassic polymetallic-gold-platinoid mineralization of the black-shale type in North Ossetia (Part 1). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (4): 6 – 29. DOI: 10.46698/VNC.2020.37.45.001.

Acknowledgments: This work was supported by State Topic registration number AAAA-A19-119040190054-8 in CRD VSC RAS.

Введение

Одной из фундаментальных проблем в области геологии золоторудных месторождений является выявление характера и причин платино- и палладиеносности золоторудных месторождений, установленной в том числе для ряда месторождений Дальнего Востока и Северо-Восточной Азии [Гончаров и др., 1995; Моисеенко и др., 2004]. Известно, что крупномасштабные концентрации Au объединяются по их типоморфным (геолого-генетическим) чертам в три группы объектов, сопряженных с: 1) «черными сланцами» (уникальные по запасам Au месторождения Сухой Лог, Наталка, Мурунтау и др.); 2) раннеколлизийным гранитоидным магматизмом (эталонные объекты – Мазерлонд, Кочкарское, Березовское, ряд объектов Аляски и др.); 3) зеленосланцевыми поясами архейских щитов (наиболее известные объекты – Колар, Хоумстейк, Хемло и др.).

Геохимическая специфика золоторудных месторождений черносланцевых толщ на элементы платиновой группы (ЭПГ, PGE), определенная разными методами [Буряк и др., 2001, 2005; Гончаров и др., 1995], требует установления минеральных форм платиноидов и минералов – типоморфных спутников платиноидов (к ним, прежде всего, относятся минералы никеля).

Выявление платиновой минерализации в рудах месторождения Сухой Лог [Лаверов и др., 1997] показывает возможность таких же находок и в рудах месторождений Востока России. Уровень концентрации Pt и Pd в рудах этих месторождений достигает вполне промышленных содержаний, что ставит вопрос об их специальном исследовании для возможного перевода в разряд комплексных золото-платиноидных месторождений. Это и обусловило проведение исследований, сконцентрированных на месторождениях в так называемых «черносланцевых толщах», содержащих до 2,5% углеродистого вещества. К таковым, в первую очередь на юго-восточном фланге Яно-Колымского пояса, относятся месторождения Наталка и Дегдекан. Как известно [Гончаров и др., 1995, 2002; Плюснина и др., 2003], руды этих крупных месторождений локализованы среди обогащенных углеродом терригенных отложений пермского возраста и содержат промышленные концентрации Pt, Pd и примесь Ir и Ru [Гончаров и др., 1995; Плюснина и др., 2003]. Однако до сих пор минеральные формы этих элементов не были установлены, и поэтому проблема их выявления весьма актуальна до настоящего времени.

Среди новых нетрадиционных крупнообъемных источников благородных металлов выделяется золото-платиноидное оруденение в железистых кварцитах, слагающих в пределах всех континентов Земли крупные и гигантские месторождения, дающие 57% мировой добычи железа и включающие около 5% общего числа золоторудных объектов. Важнейшим, но мало исследованным компонентом золотоносных железистых кварцитов являются металлы платиновой группы (МПГ).

В мегаблоке Курской магнитной аномалии (КМА) с железисто-кремнисто-сланцевой формацией нижнего карелия (в объеме курской серии) связан ряд уникальных золото-платиносодержащих супергигантских (Михайловское, Лебединское) и гигантских (Коробковское, Стойло-Лебединское) месторождений. Две трети разведанных запасов железистых руд России сосредоточено в этих пяти месторождениях, которые обрабатываются тремя ГОКами, обеспечивая около 53% добываемого в стране железорудного сырья [Чернышов, 2004; Чернышов и др., 2011].

Нетрадиционные источники получения этих металлов установлены в сульфидах из «черных курильщиков» на дне океанов [Hodge et al., 1985], в техногенных

россыпях и хвостохранилищах [Sparrow, Woodcock, 1991], в регенерированных месторождениях, проявленных в пределах различных геологических провинций. Среди новых нетрадиционных крупнообъемных источников благородных металлов выделяется золото-платиноидное оруденение в золото-меднопорфировых месторождениях [Tarkian, Koopman, 1995; Werle et al., 1984].

Благороднометалльное оруденение черносланцевого типа

В результате целенаправленных геолого-поисковых исследований были установлены резко повышенные содержания благородных металлов в следующих регионах.

1) Докембрийские черносланцевые и углеродосодержащие толщи Центральной зоны Северного Тянь-Шаня. Известно, что образование черносланцевых толщ связано с полифациальными условиями осадконакопления и присутствием биогенных компонентов в качестве источников органического вещества – фосфора, серы и нередко кремнезема. Высокие концентрации последних привели к возникновению геохимических условий осаждения благородных, цветных, редких и других металлов [Асаналиев и др., 1999; Кабаев, 2005; Кабаев и др., 2003; Калмурзаев и др., 1992]. Полифациальность образования черносланцевой формации установлена как при сравнении формаций из разных районов мира, так и при исследовании разрезов докембрийских и палеозойских эпох киргизской части Тянь-Шаня. Обобщение данных о закономерностях размещения и условиях формирования оруденения в отдельных крупных рудоносных зонах, специализированных на благородные, редкие и другие металлы в докембрийских толщах Северного Тянь-Шаня показало [Кабаев, 2005], что древние геокомплексы в пределах известных структурно-формационных зон Северного Тянь-Шаня расчленены на ряд формаций не только по литологическому составу, типу стратификации, условиям образования, степени метаморфизма, геотектоническим этапам и стадиям становления, но и по рудно-геохимической специализации. Докембрийские толщи, распространенные в Центральной зоне Северного Тянь-Шаня, содержат отдельные прослои и линзы графитизированных сланцев амфиболит-гнейсово-карбонатной подформации, по объему соответствующей куперлисайской, онарыкской, тегерментинской и другим свитам, толщи которых характеризуются полиметаллически-редкометалльно-редкоземельно-золотой, золото-сульфидной и сульфидной минерализацией с повышенным содержанием золота.

Отложения свит, формирующих амфиболит-терригенно-карбонатные и гнейсово-мигматит-терригенные формации, составляют Актюз-Боординский структурно-формационный блок дорифейского метаморфического фундамента (карелиды?), а также Иссык-Атинский и Западно-Кунгейский блоки байкальской стабилизации. В пределах этих структур широко развиты рудные месторождения, рудопроявления и интенсивные геохимические аномалии благородных, редких, редкоземельных и цветных металлов.

2) На Урале промышленно значимая золотоносность связана с колчеданосными структурами (островодужные образования) и вещественными комплексами наложенных вулканоплутонических поясов активной континентальной окраины.

Крупномасштабные месторождения золота «черносланцевого» типа на Урале характеризуются следующими общими чертами [Ананьев, Коробейников, 2009; Бу-

ряк, 1981; Додин и др., 2007; Константинов и др., 2000; Сазонов и др., 2010]: а) они приурочены к кольцевым тектоническим структурам (с ними связаны характерные «рисунки» развития гидросетей); б) они контролируются шовными зонами, часто имеющими дуплексный характер; в) рудно-магматические системы имеют длительное (десятки млн. лет) дискретное развитие, с постепенным концентрированием от кларковых содержаний и незначительных аномалий к образованию промышленных рудных тел; г) месторождения локализованы в породах, метаморфизованных в условиях не выше зеленосланцевой фации.

Обычно крупные месторождения формируются в двух геодинамических обстановках: в рифтогенной возникают концентрации на уровне промежуточных коллекторов, а в коллизионной происходит «дозревание» промежуточных коллекторов до месторождений.

«Черные» сланцы на Урале преимущественно формировались в рифтогенной и коллизионной геодинамических обстановках. Кольцевые структуры для площадей их развития здесь не характерны: они контролируются линейно вытянутыми зонами. Длительность развития золотоносных структур достигает 80 млн лет. Для Урала установлено, что более 85% золоторудных объектов (включая и локализующиеся в «черных» сланцах) приурочены к зонам развития зеленосланцевого метаморфизма.

Содержащее платиноиды золотое оруденение в «черных» сланцах распространено на Урале довольно широко и охарактеризовано в работах [Баранников, 2006; Великанов, Сазонов, 2010; Додин и др., 2007; Ковалев, 2008; Сазонов и др., 2011 и др.]. Установлено, что большинство золоторудных объектов приурочено к шовным зонам, часто имеющим рифтогенную (она проявлялась 1290, 560 и 480 млн лет тому назад) и коллизионную (которая проявлялась 385-240 млн лет тому назад) природу. Считается [Ананьев, Коробейников, 2009], что на Южном и Среднем Урале имеются предпосылки для открытия золото-платиновой провинции с крупными рудными узлами.

Опыт прогнозной оценки промышленной значимости объектов «черносланцевой» формации показывает, что она может быть сделана только после установления глубинного геологического строения провинции, картирования метаморфических фаций и метасоматических формаций, а также формационного анализа магматитов.

Установленное трехуровневое концентрирование золота в «черных» сланцах позволяет выделить три направления для рассматриваемой проблемы [Сазонов и др., 2010]. Первое – детальное изучение фациального состава субстанций черносланцевого комплекса и сопряженных с ним проявлений магматизма для выявления возможных источников рудного вещества и флюидов. Второе – установление для золотоносных площадей степени метаморфизма пород «черносланцевого» комплекса. Третье – формационный анализ интрузивного комплекса габбро-диорит-гранитного состава, так как его рудно-магматическо-метаморфическая система «доводит» концентрирование золота во «вторичных коллекторах» до промышленных содержаний [Ананьев, Коробейников, 2009; Жмодик и др., 2008; Константинов и др., 2000; Сазонов и др., 2010 и др.].

3) Северо-восточная Азия и Дальний Восток. В целом, сиалический профиль областей генерации магматических расплавов на северо-востоке Азии обусловил их региональную геохимическую олово-благороднометалльную специализацию. Исследования по проблеме источника вещества и флюида показали, что рудное вещество, скорее всего, является производным нижней коры, а для флюидов наиболее

вероятен гетерогенный источник с преобладанием верхнекорового [Гамянин, Горячев, 2000; Горячев, 2003; Горячев, Гамянин, 2000; Горячев и др., 2004]. Здесь выделяют три региональные рудно-магматические системы (РМС): Северную (Олойско-Чукотскую), Яно-Колымскую и Верхоянскую; предполагается наличие еще одной РМС, расположенной вдоль Адыча-Тарынской зоны.

Особенности платиноидной минерализации и сопутствующих минералов в рудах месторождений Яно-Колымского золоторудного пояса (РМС) позволяют считать, что все они связаны с процессами «разрушения» магматических источников основного – ультраосновного составов и с накоплением их продуктов в пермских осадках. Крупных тел базитов и ультрабазитов в до-пермских и пермских отложениях обрамляющих их тектонических блоков пока не обнаружено, но отмечается тесная ассоциация ЭПГ-минерализации с золотоносными эпигенетическими метасоматитами.

Сопоставление этих месторождений с объектами современной гидротермальной активности Восточно-Чукотского моря (донными отложениями, существующими в сходных тектонических условиях) дало основание предположить [Гончаров и др., 2004], что источником ЭПГ в осадочных пермских отложениях северо-восточной Азии были сейсмоактивные троговые зоны на дне пермского моря. Скорее всего, обогащенность тектонических зон в разрезах пермских отложений Ni, Cr и Co свидетельствует о металлогенической роли таких сейсмоактивных зон и позволяет считать их каналами, подводящими флюиды с ЭПГ, Ni, Cr, Au в придонные слои пермского моря, с формированием в осадках горизонтов, первично обогащенных благородными металлами.

Важным достижением при изучении сложного Au-Ni-PGE оруденения в черносланцевых толщах было выявление минеральных форм платиноидов на месторождении Дегдекан (рутениридосмин, осмирид, лаурит, иридарсен, осмий самородный) и их минеральных ассоциаций в рудах, послужившее основой для разработки технологии извлечения данных минералов вместе с золотом и увеличившее ценность руд этого типа. В итоге была разработана следующая модель образования руд: а) первичное накопление благородных металлов и никеля в конкретных горизонтах осадков пермского моря, в связи с троговыми зонами пассивной континентальной окраины; б) последующее перераспределение при метагенезе и метаморфизме на раннеорогенном этапе в позднем мезозое; в) вынос полезных компонентов из нижних горизонтов осадочного чехла метаморфогенно-магматогенными флюидами при орогенезе с их отложением в приразломных зонах в синнадвиговый и синсбросовый этапы рудогенеза [Горячев и др., 2004]. Установлена связь благородных металлов с никелем и показано принципиальное присутствие ЭПГ-минерализации в «черносланцевых» рудах золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса, что расширило перспективы таких месторождений как комплексных золото-платиноидных.

Платиноносность золоторудных месторождений в черносланцевых толщах Дальнего Востока известна почти четверть века [Гончаров и др., 1995; Моисеенко и др., 2004], поэтому важно было выявить источник углерода – это первично углеродистые толщи или метасоматоз? Работами последних лет показана роль углеродистого вещества как геохимического барьера, концентрирующего совместно золото, платину и палладий. Отмечена тесная связь платиноидов в рудах с сульфидами [Буряк и др., 2002а, б; Гончаров и др., 2004; Плюсина и др., 2003] и выявлен новый

тип золото-платиноидного оруденения, связанного с углеродистым метасоматозом [Ханчук и др., 2004], что свидетельствует о не случайности повышенной платиноносности золотых руд месторождений, локализованных в черносланцевых толщах. Геохимическая платиноносность золоторудных месторождений черносланцевых толщ, определенная разными методами [Буряк, 2003; Буряк и др., 2002а, 2005; Гончаров и др., 1995], требует установления минеральных форм платиноидов и минералов – типоморфных спутников платиноидов.

Предложено направить дальнейшие усилия на изучение микроминералогии этих руд как базы для разработки конкретных технологических схем извлечения благородных металлов и на установление природы геохимических аномалий ЭПГ в рудах наталкинского и ветренского типов [Горячев и др., 2004].

4) Черносланцевые толщи тимского и кшенского типов на железорудных месторождениях-гигантах Курской магнитной аномалии (КМА) и Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Важнейшим компонентом железистых кварцитов КМА и сформировавшихся по ним залежей богатых железных руд доверхневизейской коры выветривания, а также гигантских по объему промышленных продуктов горнорудных предприятий являются благородные металлы – крупнейший нетрадиционный источник селективной и попутной золото- и платинодобычи XXI века. Среди разнообразных по составу железных руд впервые выделено [Чернышов, 1996а, 2004, 2011; Чернышов и др., 2011] шесть генетических типов золото-платинометалльного оруденения: осадочно-метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический (стратиформный), гидротермально-метасоматический, гипергенно-метасоматический, осадочный (базальные горизонты, залегающие на богатых мармитовых рудах) и техногенный. Каждый тип характеризуется своими условиями локализации, морфологией и масштабами рудных залежей, типом минерализации, содержанием благородных металлов и практической значимостью. В связи с тем, что статья посвящена черносланцевому типу Au-Pt оруденения, ниже рассмотрена характеристика типов руд КМА и ВКМ, ассоциирующих с углеродсодержащими «черными» сланцами.

Осадочно-метаморфогенный тип развит на обширных площадях среди железистых кварцитов на всех железорудных месторождениях с низкими содержаниями Au (0,03 г/т) и ЭПГ (до 0,05 г/т). Кроме того, он также встречается в нижней и верхней сланцевых подсвитках коробковской свиты курской серии. Этот тип минерализации представляет интерес для попутного извлечения Au и ЭПГ из продуктов переработки железистых кварцитов.

Стратифицированные высокоуглеродистые комплексы и железистые кварциты раннего докембрия широко распространены и являются высоко перспективным источником золото- и платинодобычи. В докембрийском фундаменте центрального региона России (Курский и Воронежский железорудные районы) сосредоточено 60 железорудных объектов, в том числе обрабатываемые супергигантские и гигантские по запасам месторождения железистых кварцитов и сопровождающих их углеродистых сланцев, в которых важнейшим компонентом являются благородные металлы [50]. Среди них выделен ряд формационно-генетических типов золото-платинометалльного оруденения, ассоциирующих с железными рудами, черносланцевыми толщами и их метасоматитами [Чернышов, 2004, 2007]. Установлен многокомпонентный полиминеральный состав оруденения (более 60 минералов), включая 30 минеральных фаз ЭПГ и Au, наличие повышенных содержаний благородных ме-

таллов в рудообразующих сульфидах, сульфоарсенидах, теллуридах, антимонидах [Чернышов, 2011]. Доказана полигенная природа источников рудного вещества и предложена полихронная модель формирования руд.

Кроме стратифицированных золото-платиносодержащих залежей на контакте стойленской и коробковской свит и залегающих среди железистых кварцитов внутрирудных сланцев, интерес представляют высокоуглеродистые сланцы и метасоматиты оскольской вулканогенно-осадочной серии, перекрывающей курскую. Эти отложения, совместно с курской серией представляющие единый палеопротерозойский структурно-формационный комплекс протоплатформенного этапа и последующего континентального рифтогенеза и коллизии, явно проявляются в Старооскольском железорудном районе с известными сверхкрупными и крупными месторождениями КМА.

Характерными особенностями подобных золото-платиноносных структурно-формационных зон являются [Буряк, 2002б; Додин и др., 2007; Константинов и др., 2000; Платина России, 2005; Рудашевский и др., 1995; Холин, 2001; Чернышов, 1996а, 2007; Чернышов, Попкова, 2006; Чернышов и др., 1999]: а) полицикличность и многостадийность их развития с резким преобладанием терригенно-осадочных (в том числе мощных железорудных) отложений на ранних стадиях (курская серия) и возрастающая роль углеродистых вулканогенно-осадочных и вулканических образований (оскольская серия) на поздних стадиях их формирования; б) широкое развитие дифференцированных в разной мере вулканоплутонических ассоциаций с пикрит-толеит-базальтовыми и базальт-андезит-дацитовыми вулканидами (оскольская серия) и магматитами ультраосновного-основного, габбро-диорит-гранодиоритового и гранитоидного составов с отчетливой металлогенической специализацией на Cu, Pb, Zn, Au, Ag, ЭПГ, P, B, PЗЭ; в) высокая степень интенсивности проявления складчатости и взбросо-надвиговых перемещений, сложный структурный рисунок разломов различных порядков, с образованием зон объемного катаклаза, являющихся контролирующими элементами рудообразующих систем; г) низкоградиентный тип метаморфизма в условиях эпидот-амфиболитовой и в большей мере зеленосланцевой фаций, способствующий перераспределению и накоплению рудного вещества и широкому развитию разнообразных по составу метасоматитов, сопровождающихся комплексным золото-платинометалльным оруденением тимского и кшенского типов; последние совместно с благороднометалльно-содержащими межрудными сланцами и подстилающими роговскую свиту углеродистыми толщами стойленской свиты образуют, по существу, единую длительно формирующуюся черносланцевую рудную формацию [Чернышов, 1996б, 2007; Чернышов, Попкова, 2006].

Оруденение тимского типа, наиболее полно проявившееся в крупной (протяженностью 130 км при ширине 30-50 км) Тим-Ястребовской структуре КМА, характеризуется: локализацией в нижней сульфидизированной углеродистой терригенно-осадочной части разреза тимской свиты оскольской серии; многоуровневым (3-7 горизонтов, мощностью от первых метров до 25-30 м) размещением; высокими концентрациями (1,5-34,6 г/т) ЭПГ и Au; отчетливой корреляционной связью их с S, S и рядом петрогенных и малых (Ni, Cu, Co, Cr, Zn, Ti, V, P и др.) элементов; преимущественно базальтоидным типом распределения ЭПГ (Pd>Pt>Rh>Ru>Ir>Os); высокой степенью концентрирования благородных металлов в наиболее тонкозернистой (<0,06 мм) сульфидно-углеродистой фракции, в которой их концентрации

многократно (в 15-16 раз) превышают содержания в исходных (рудовмещающих) породах.

Стратиформное метаморфогенно-метасоматическое оруденение приурочено к зонам контакта толщи углеродистых сланцев верхнестойленской подсвиты с перекрывающими безрудными и слабо рудными кварцитами нижней железорудной подсвиты коробковской свиты курской серии и к межрудным углеродсодержащим сланцам с син- и эпигенетической сульфидной минерализацией. Рудные залежи имеют пирит-пирротин-халькопирит-галенитовый состав и повышенные содержания Au (0,54-6,18 г/т), Pt (0,12-0,30 г/т) и Pd (0,58-0,77 г/т). С этим типом связан крупнообъемный по запасам тип благороднометалльного оруденения, приуроченный в Михайловском рудном районе к протяженной (более 70 км) и мощной (от 40 до 90 м) зоне контакта ритмично-слоистой толщи углеродсодержащих сланцев стойленской свиты с перекрывающими безрудными и слабо рудными кварцитами нижней железорудной толщи курской серии. В разной мере это проявляется в месторождениях Старооскольского рудного узла (Лебединское, Стойленское, Коробковское, Стойло-Лебединское), которые являются самостоятельными золото-платиноидными объектами для селективной отработки.

Техногенный (россыпной) тип включает благороднометалльное оруденение в различных продуктах переработки железных руд (общие хвосты, скважинные пробы из хвостохранилища, пробы всех стадий магнитной сепарации и флотации), накопленных действующими горно-рудными предприятиями (ГРП) КМА (Михайловское, Лебединское, Стойленское, Стойло-Лебединское, Коробковское). Изучение золотоносности железистых кварцитов и богатых железных руд для КМА является одной из актуальнейших задач, так как действующие ГРП КМА перерабатывают более 50% железных руд России и выбрасывают в отвалы большое количество золото- и платиносодержащих минералов. Повышенные концентрации благородных металлов установлены в двух крупнейших месторождениях КМА – Михайловском и Лебединском.

В совокупности все эти типы золото-платинометалльного оруденения являются, вместе с тем, первичным источником золота и платиноидов, поступающих в гигантские (свыше 1,3 млрд т) хвостоотвалы ГОКов. Хвостоотвалы, в процессе более чем 40-летней добычи железных руд КМА, стали представлять собой новый, техногенный по своей природе, крупный самостоятельный объект золото-платиновой добычи. Наиболее обогащены благородными металлами пески гидроциклонов (ЭПГ до 1,5 г/т, Au=25,0-43,54 г/т) и немагнитная фракция (Au=15 г/т, Pt=0,2 г/т, Pd=0,4 г/т).

Установлено, что на распределение, степень концентрирования и формы нахождения золота и платиноидов существенное влияние оказывает место парагенезисов сульфидов в общем длительном процессе формирования благороднометалльного оруденения в высокожелезистых рудообразующих системах. На Михайловском месторождении в составе сульфидов золото установлено в пиритах из рудного щелочного метасоматита (5,11 г/т), слюдистого железистого кварцита (1,43 г/т) и кварцевой жилы (0,05 г/т). Пирит из кварцевой жилы обогащен селеном (1556,3 г/т), а в пирите из щелочных метасоматитов установлены повышенные содержания ртути (117,9 г/т) и мышьяка (9709 г/т).

Сульфиды на Лебединском месторождении характеризуются многообразием форм проявления пирита и пирротина и сложными взаимоотношениями с оксидами (магнетитом, гематитом) и силикатами.

Золото-платинометалльное оруденение железорудных месторождений КМА характеризуется сложным полиминеральным (более 60 минералов) и многокомпонентным составом [Чернышов, 2011]. Определяющими особенностями благороднометалльного оруденения являются многообразие форм концентрирования и широкое развитие собственных минеральных фаз ЭПГ, Au и сопутствующих им элементов (Ag, Te, Bi).

Проведенные исследования золото-платинометалльных объектов позволили выявить основные закономерности пространственного размещения разномасштабных благороднометалльных объектов в палеопротерозое [Чернышов, 1996б, 2004, 2011; Чернышов и др., 2011 и др.].

Михайловская площадь вмещает золото-платинометалльные пункты минерализации как в конгломератах краевых частей палеопротерозойской синклинали структуры, так и в железистых кварцитах и безрудных сланцах. На территории Михайловского рудного района находятся пять месторождений – Михайловское, Ново-ялтинское, Курбакинское, Яценское и Дичнянско-Реутецкое, а также 38 участков и аномалий. Исследованиями последних лет установлен уникальный формационный тип – золото-палладийсодержащая железорудная формация КМА, метасоматические благороднометалльные руды которой контролируются Хальзево-Михайловской тектонической зоной. Прогнозные ресурсы золота в самостоятельных рудных телах в контуре карьера оцениваются как соответствующие мелким и средним месторождениям. Оскольская площадь (Старооскольский железорудный район) хорошо изучена (здесь исследовано более 30 участков и геофизических аномалий) и отрабатывается карьерами (Лебединское, Стойло-Лебединское и Стойленское месторождения). На Коробковском месторождении добыча железистых кварцитов ведется шахтным способом; здесь разведаны и подготовлены к эксплуатации Чернянское и Приоскольское месторождения, в резерве находятся Салтыковское, Осколецкое, Погромецкое, Огибнянское, Северо-Волотовское и Панковское месторождения. Для золото-платинометалльных проявлений Оскольской площади характерна пространственная ассоциация с дайками и интрузивными телами диорит-гранодиоритового состава. В каждой из выделенных площадей развития благороднометалльной минерализации, в разрезах эпиплатформенного типа с железистыми кварцитами и углеродсодержащими межрудными сланцами, могут быть выявлены мелкие и средние по запасам месторождения.

Наиболее перспективными в отношении благородных металлов являются железистые кварциты и сопутствующий им комплекс углеродсодержащих внутрирудных сланцев, в связи с попутной добычей золота и платиноидов при разработке уникальных железорудных месторождений. Общие ресурсы благородных металлов по Михайловскому месторождению составляют 1300 т.

5) На Северном Кавказе до 80-х годов прошлого века из благородных металлов были известны золото и серебро. Мелкие аллювиальные россыпные объекты золота в долинах рек Белая, Большая Лаба, Уруп, Зеленчук, Кубань, Малка отрабатывались до середины 50-х годов артелями. Попутное золото извлекалось из пиритового и других концентратов Урупского медно-колчеданного с полиметаллами месторождения, а также из медно-висмутового концентрата Тырныузского вольфрамово-молибденового комбината. Серебро попутно извлекалось из свинцового концентрата Садонского свинцово-цинкового комбината.

После исследований и положительной оценки перспектив платиноносности девонской толщи углеродсодержащих сланцев Северного Кавказа [Лазаренков и др., 1998], круг благородных металлов расширился (микрозондовым анализом установлены минералы – рутениридосмин и самородная платина [Богущ и др., 2017]).

Обычно минеральные формы группы платиноидов в черных сланцах и в магматических породах визуально и микроскопически не фиксируются из-за их тонкодисперсного состояния, а их наличие фиксируется при микрозондовых или электронно-микроскопических исследованиях. Аналогичная ситуация типична для месторождений благородных металлов в черносланцевых толщах [Гурская, 2000; Новожилов, Гаврилов, 1999; Парада, 2009; Сазонов и др., 2011; Carville et al., 1990; Crauch et al., 1991; Large et al., 2007].

В черных сланцах р. Большая Лаба были обнаружены минералы самородной платины и установлена платиноносность сланцев девона [Богущ, 2001; Давыдов и др., 2009]. Результаты комплексных исследований черных сланцев Северного Кавказа показали, что существует единый ультрабазитовый источник двух групп благородных металлов как для Au, так и для Pt, Pd.

Перспективность выявления промышленных платиновородных объектов на Кавказе была теоретически обоснована в работах С.Г. Пареды [Чернышов, 2007, 2011].

В балке Грушовой (бассейн р. Большая Лаба) И. А. Богущем с соавторами выявлено наличие благородных металлов (Au, Pt, Pd) черносланцевого типа в концентрациях и объемах, близких к промышленным [Богущ и др., 2015, 2016а, б, 2017; Буряк и др., 2002а]. Установлена идентичность наборов благородных металлов в сланцах и ультрабазитах. Результаты комплексных исследований благородных металлов позволяют выделить Северный Кавказ в качестве новой благороднометалльной провинции Российской Федерации [Богущ и др., 2017].

Геологическая характеристика района развития ранне-среднеюрского золото-платинового оруденения черносланцевого типа в рудных полях полиметаллических месторождений Кадат и Какадур (Северная Осетия-Алания)

Как было показано выше, в черных сланцах р. Большой Лабы была обнаружена самородная платина и установлена платиноносность сланцев девона [Богущ, 2001; Богущ и др., 2010, 2015, 2016а, б; Буряк и др., 2002а]. Доказана потенциальная рудоносность на благородные металлы (Au, Pt, Pd) углеродсодержащих девонских черных сланцев (в рудной зоне Грушовой суммарное содержание трех металлов достигает 1 г/т). Ультрабазиты Беденского массива рассматриваются как источник благородных металлов для вмещающих их углеродсодержащих девонских черных сланцев [Богущ и др., 2017]. Минералогическое, петро-геохимическое изучение черных сланцев показало их генетическую связь с эрозией ультраосновных массивов [Богущ и др., 2017; Буряк и др., 2002а].

Следовательно, до 2019 г. считалось, что на Северном Кавказе потенциально рудоносными на благородные металлы являются только углеродсодержащие девонские черные сланцы. Однако, при проведении минералого-геохимических исследований количественными методами (XRF и ICP MS с переводом проб в раствор в автоклаве из-за высокого содержания серы сульфидов в пробах) промышленных от-

ходов (ПО) Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ), перерабатывавшей руды Какадур-Ханикомского и Кадат-Хампаладагского полиметаллических месторождений, расположенных в полосе развития углеродсодержащих черных аргиллитов ниже-среднеюрского возраста, впервые были выявлены повышенные концентрации благородных металлов (БМ) [Гурбанов и др., 2019б].

Промышленные отходы захоронены в Фиагдонском хвостохранилище (ФХ) длиной до 800 м при ширине от 50 и до 200 м, расположенном в пойме долины р. Хаником-дон. Для получения представительных данных о характере распределения базовых металлов в объеме хвостов была проанализирована 71 проба из керна трех сважин, пробуренных на всю мощность ФХ (с востока на запад – 10 м, 22 м и 31 м) и 24 пробы из поверхностного слоя ПО на глубину до 0,3 м по профилям [Гурбанов и др., 2019а]. На первом этапе исследований пока проанализировано 5 проб керна из нижних частей разреза ПО. В них содержания БМ (в г/т) варьируют в пределах: Au – от 0,05 до 0,35; Pd – от 0,042 до 0,049; Pt – от 0,07 до 1,29 [Гурбанов и др., 2019б]. Вслед за этими пробами были проанализированы 4 пробы аргиллитов из разных частей разреза черных аргиллитов ниже-среднеюрского возраста. В них содержания БМ и базовых металлов (в г/т) варьируют в пределах: Pd – от 0,003 до 0,01; Pt – от 0,002 до 0,01; Au – от 0,01 до 0,05; Ag – от 0,01 до 1,87; P – от 522 до 788; Cr – от 84 до 94; V – от 141 до 156; Ni – от 13 до 48; Cu – от 56 до 157; Zn – от 79 до 132; Pb – от 567 до 2546; As – от 133 до 502; Ba – от 362 до 432.

Полученные данные, с большой долей вероятности, позволяют считать, что в пределах Авсандур-Ламардонского рудного поля, вмещающим полиметаллические месторождения Какадур-Хаником, Кадат-Хампаладаг и многочисленные рудопроявления, выявлен новый для Северного Кавказа ранне-среднеюрский черносланцевый благороднометалльный с полиметаллами тип оруденения [Гурбанов и др., 2019б].

Отметим, что с 2007 по 2009 гг. ОАО «Севостеологоразведка» проводила на территории Горной Осетии (РСО-А) поисковые работы на золото-серебряный и золото-сульфидный типы оруденения, включающие детализационные работы с проходкой поверхностных горных выработок и их бороздовым опробованием в участках выявленных рудных зон, пробирный анализ этих проб на золото, а также проведение геофизических и геохимических площадных съемок. Здесь важно подчеркнуть, что геологическими заданиями, а соответственно и проектами на проведение поисковых работ (в отчетах Давыдов и др., 2009; Туаев, 2019) не предусматривались анализы на определение в пробах содержания платины и элементов платиновой группы. В итоге, в пределах Авсандур-Ламардонского рудного поля выделена наиболее перспективная Какадур-Ламардонская рудная зона с вариацией содержания золота от 0,1 г/т до 3,0 г/т. В пределах этого рудного поля выделено еще шесть рудоносных зон протяженностью 500-1600 м с повышенными содержаниями Au и Ag (Давыдов и др., 2009).

Характеристика золоторудных зон, выявленных в пределах Авсандур-Ламардонского рудного поля

В пределах Какадурского (рис. 1) и Ламардонского участков поисковых работ, по данным геологического картирования в масштабе 1:5000, были существенно уточнены границы ранее выявленных рудных зон и их апофиз с актуализацией информации о ее морфометрических параметрах. Установлено существенное умень-

шение мощностей рудных зон в сравнении с данными предшествующих работ (Давыдов и др., 2009). По уточненным границам, в пределах рудных зон и их фрагментов (рудная зона Какадур-Северный, Какадур-Южный, апофиза Центральная, Северная, Цатадонские жилы) горно-буровыми работами, в комплексе с опробованием и лабораторно-аналитическими исследованиями, дана оценка золотонности выявленных объектов золоторудной минерализации с поверхности и на глубину до 300 м (Туаев, 2019).



Рис. 1. Схематическая геологическая карта Какадурского участка (Туаев, 2019). /

Fig. 1. Schematic geological map of the Kakadurskiy district (Tuayev, 2019).

В рудной зоне Какадур-Северный, по данным рудных сечений с поверхности, оконтурено и прослежено по латерали на 1600 м и по падению до 300 м три рудных тела с истинной мощностью от 0,9 до 10,8 м со средневзвешенными на пересечениях содержаниями (в г/т): Au от 0,52 до 3,76, Ag от 1,0 до 59,28; Cu от 0,15 до 1,10 масс.%, Zn от 0,11 до 5,27 масс.%, Pb от 0,10 до 3,78 масс.%.

По данным бурения поисковых скважин №№ 2 и 3 на двух профилях с шагом в среднем 400 м выявленное с поверхности золотое оруденение прослежено на глубину до 300 м. При этом установлено общее незначительное снижение с глубиной параметров оруденения как по мощности, так и по содержаниям рудных элементов.

По рудной зоне Какадур-Южный, по данным рудных сечений с поверхности, оконтурено и прослежено по латерали на 1650 м одно рудное тело с истинной мощностью 13,6 м со средневзвешенными на пересечениях содержаниями (в г/т): Au=1,35, Ag от 1,0 до 59,28; Cu от 0,15 до 1,10 масс.%, Zn от 0,11 до 5,27 масс.%, Pb от 0,10 до 3,78 масс.%.

По апофизе Северной горно-буровыми работами выделено, оконтурено и прослежено по латерали на 600 м и по падению до 300 м одно рудное тело с истинной мощностью от 5,0 до 13,4 м и со средневзвешенными на пересечении содержаниями (в г/т): Au от 1,97 до 2,32, Ag от 1,0 до 5,40. Содержания Cu, Zn, Pb исчисляются в первых долях процента как на поверхности, так и на глубине.

По апофизе Центральной горно-буровыми работами выделено, оконтурено и прослежено по латерали на 1200 м и по падению до 300 м одно рудное тело с истинной мощностью от 2,0 до 10,8 м со средневзвешенными на пересечении содержаниями (в г/т): Au от 2,63 до 2,70, Ag от 2,0 до 6,2. Содержания Cu, Zn, Pb исчисляются в первых долях процента по всему вскрытому разрезу.

По Цатадонским жилам горными работами выделено, оконтурено и прослежено по латерали на 520 м и по падению до 200 м одно рудное тело с истинной мощностью от 7,9 до 8,9 м со средневзвешенными на пересечении содержаниями Au 2,58 г/т и Ag 3,6 г/т. Содержание элементов халькофильной группы характеризуются низкими концентрациями по всему вскрытому разрезу.

По всем перспективным рудным зонам дана оценка сплошности распространения золотого оруденения как с поверхности, так и на глубину до 300 м.

Породам, вмещающим линейное штокверковое оруденение, присуща темная окраска за счет присутствия тонкодисперсного углеродистого вещества, содержание которого достигает 3-5% от объема породы. Участки развития сингенетических сульфидов железа, образующих рассеянную вкрапленность или отдельные желваковые скопления, по-видимому, указывают на наличие в бассейне осадконакопления мест конседиментационных впадин с застойным восстановительным режимом осадконакопления. Особенностью рудовмещающей толщи, осложненной рядом пликативных и дизъюнктивных нарушений высоких порядков, является наличие в ней, по данным документации отдельных лентовидных горизонтов, сферосидеритовых и часто пиритизированных конкреций.

Линейная зона золоторудной штокверковой минерализации связана с объемным окварцеванием, с кварцевыми жилами, брекчиями с кварцевым цементом в углеродистых аргиллитах, алевролитах и с развитием аргиллизации, хлоритизации, пиритизации, лимонитизации и полиметаллической минерализации.

Характерной структурной особенностью вскрытых разрезов на участках Какадур и Ламардон является смена зон дробления на серии сближенных плоскостей скольжения, зоны рассланцевания, глинистые тектонические швы и единичные «зеркала» скольжения. Это обуславливает даже на коротких интервалах рудных тел «трансформацию» массивных рудных линз и жил, а также жил с алевролитовой брекчией в зоны прожилкового и штокверкового оруденения, возможно, указывая на наличие конвекции вадозных вод из вмещающих аргиллитов. Изредка линзы и жилы сменяются отдельными прожилками и линзовидными гнездами, развивающимися на перегибах одиночных плоскостей скольжения.

В качестве основных прогнозно-поисковых критериев и признаков выделены геотектонический, формационный, литолого-стратиграфический, структурно-тектонический, метаморфический, гидротермально-метасоматический, минералого-геохимический, геохимический и геофизический.

Геотектонический. Палеовпадины в борту глубоководной части киммерийского рифта, осложненной конседиментационной тектоно-магматической активизацией.

Формационный. Рифтогенный комплекс ранне-среднеюрских терригенных флишеидных отложений значительной мощности (более 2000 м) с существенной примесью вулканогенного материала и повышенной фоновой металлоносностью пород.

Литолого-стратиграфический. Стратоуровень тоар-ааленских терригенных флишеидных отложений, в пределах которого сосредоточено основное число золотосодержащих и золоторудных проявлений района, непосредственно подстилается комплексом плинсбах-тоарских терригенных пород, отличающихся наиболее высокой металлоносностью пород и, возможно, повышенной золотоносностью.

Структурно-тектонический. Территории значительно проявленных тектонических (складчатых и разрывных) преобразований комплексов пород; рудоконтролирующие зоны интенсивного дробления, трещиноватости и расланцевания рудовмещающих отложений.

Метаморфический. Область наиболее значительных динамометаморфических или дислокационных метаморфических преобразований пород.

Гидротермально-метасоматический. Околорудные метасоматиты в пределах золотоносных минерализованных зон имеют зональное строение, от внешних окварцевания, серицитизации, хлоритизации и сульфидизации к внутренним – окварцеванию и сульфидизации.

Минералого-геохимический. Проявления золотосодержащей полиметаллической и золото-сульфидно-кварцевой минерализации. Типичные рудные минералы ассоциации – пирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, халькопирит и др., нерудные – кварц, кальцит, доломит. Основной полезный компонент руд – Au. Попутными компонентами в рудах являются Ag, Pb, Cu и Zn, из вредных компонентов – мышьяк.

Геохимический. Литохимические аномалии Au, совпадающие с аномальными полями элементов-спутников – Ag, As, Cu, Pb, Zn.

Геофизический. Линейные аномалии «вызванной поляризации», отвечающие линейным зонам штокверкового золото-сульфидно-кварцевого оруденения.

По данным петрографического, минераграфического и минералогического изучения вещественного состава образцов золото-сульфидно-кварцевых руд и околорудных метасоматитов установлено, что они относятся к золото-мышьяковисто-полиметаллическому типу руд с тонкодисперсным (упорным) золотом. Наиболее вероятными минералами-носителями золота являются арсенопирит и мышьяковистый пирит, серебра – галенит.

Результаты геолого-экономической оценки прогнозных ресурсов золота категорий P_1 и P_2 показали возможность рентабельной отработки 43% рудной массы, оконтуренной по борту 0,5 г/т открытым способом, и 57% – подземным штольневым способом.

Принятая в соответствии с группой и типом месторождений плотность поисковой сети и фактическая степень изученности сырья позволяет оценить выявленные ресурсы по категориям P_1 и P_2 . Согласно протоколу апробации прогнозных ресурсов ФГБУ «ЦНИГРИ» № 23 от 25.12.2019 г., прогнозные ресурсы золота категории P_1 составляют 23,1 т, при содержании золота 1,84 г/т и P_2 -25,9 т, при содержании золота 1,74 г/т (Туаев, 2019).

Выводы

1. На основании анализа целенаправленных исследований разновозрастных рудных объектов (докембрийские черносланцевые углеродсодержащие толщи Центральной зоны Северного Тянь-Шаня; черносланцевые толщи Урала, северо-вос-

точной Азии и Дальнего Востока; черносланцевые толщи тимского и кшенского типов на железорудных месторождениях-гигантах в Центральной России (КМА, ВКМ); углеродсодержащие девонские сланцы Передового хребта Большого Кавказа, рассмотрены подходы к решению одной из фундаментальных проблем в области геологии золоторудных месторождений – выявлению характера и причин платино- и палладиенности золоторудных месторождений.

2. Выявленные повышенные содержания благородных металлов в низах вертикальных разрезов промышленных отходов, захороненных в ФХ, объясняются присутствием в нижнеюрских углеродсодержащих песчано-глинистых толщах, вмещающих Какадур-Ханикомское и Кадат-Хампаладагское месторождения, нового для Северного Кавказа ниже-среднеюрского золото-платиноидного с полиметаллами оруденения. Этот вывод, в отношении золота, серебра и полиметаллов, полностью подтвержден результатами поисковых работ проведенных в пределах Авсандур-Ламардонского рудного поля (Давыдов и др., 2009; Туаев, 2019).

3. Поисковыми работами, проведенными в 2019 г. АО «Северо-Кавказское ПГО» АО «Росгеология» в пределах Какадурского и Ламардонского участков [Туаев, 2019], были существенно уточнены границы ранее выявленных рудных зон (Давыдов и др., 2009) и их апофиз с актуализацией информации об их морфометрических параметрах. Установлено существенное уменьшение мощностей рудных зон в сравнении с полученными ранее данными (Давыдов и др., 2009). По уточненным границам, в пределах рудных зон и их фрагментов (рудная зона Какадур-Северный, Какадур-Южный, апофиза Центральная, Северная, Цатадонские жилы) горно-буровыми работами, в комплексе с геофизическими работами методом «Вызванной поляризации», дана оценка золотоносности выявленных объектов золоторудной минерализации с поверхности и на глубину до 300 м, а также оценена сплошность распространения золотого оруденения как на поверхности, так и на глубину до 300 м (Туаев, 2019). Доказано общее незначительное снижение с глубиной параметров оруденения как по мощности, так и по содержаниям рудных элементов.

4. Установлено, что «рудные тела» приурочены к участкам с наибольшей степенью гидротермально-метасоматической и тектонической проработки (наличие зон дробления, вплоть до глинки трения, зеркал скольжения) по аргиллитам и алевролитам, выраженной в объемном окварцевании, а местами с кварцевыми жилами мощностью 20-40 см, существенной лимонитизацией, развитием рассеянной, мелкогнездовой и прожилковой вкрапленности пирита, реже галенита, сфалерита и халькопирита.

Характерной структурной особенностью вскрытых разрезов обоих участков (Какадур, Ламардон) является непрерывная смена зон дробления на серии сближенных плоскостей скольжения, зоны рассланцевания, глинки трения и единичные плоскости скольжения.

5. Основные перспективы РСО-А на обнаружение промышленно-значимого золото-платиноидного с полиметаллами черносланцевого типа оруденения связаны с Фиагдон-Терской структурно-формационной подзоной, в которой выделен Дагом-Терский рудный район с тремя рудными полями – Дагом-Терским, Афсандур-Ламардонским и Дагом-Кадатским (Давыдов и др., 2009; Туаев, 2019), а также с полной утилизацией промышленных отходов Фиагдонского хвостохранилища, с предварительным селективным извлечением из них благородных и полиметаллов и экологически опасных элементов (Гурбанов и др., 2019б).

Литература

1. Ананьев Ю. С., Коробейников А. Ф. Метасоматизм и благороднометальное оруденение в черносланцевых толщах Западной Калбы. – Томск: Томский ГУ, 2009. – 206 с.
2. Асаналиев У. А., Кабаев О. Д., Турдукуев И. Д. Стратиформные месторождения докембрия и закономерности их формирования. // Геодинамика, металлогения полезных ископаемых и геоэкология. / Сб. научных трудов. – Бишкек. – 1999. – С. 100-121.
3. Баранников А. Г. Золотоносность Гогинского рудно-россыпного узла. – Екатеринбург: УГГУ, 2006. – 198 с.
4. Богущ И. А. Благородные металлы углеродсодержащей формации Передового хребта Северного Кавказа. // Новые идеи в науках о Земле. Тезисы докладов V международной конференции. Т. 2. – М.: МГГА, 2001. – С. 190-191.
5. Богущ И. А., Рябов Г. В., Кафтанатий А. Б. Минералы платиновой группы в аллювии бассейна рек Уруп – Большая Лаба (Северный Кавказ) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 435. №3. С. 357-360.
6. Богущ И. А., Бурцев А. А., Черкашин В. И. Благородные металлы в черных сланцах Уруп-Лабинского района Северного Кавказа. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы V научно-технической конференции. Республика Северная Осетия – Алания, 22-25 октября 2015 г. – Владикавказ. – 2015. – С. 34-39.
7. Богущ И. А., Черкашин В. И., Рябов Г. В. и др. Новый тип оруденения благородных металлов на Северном Кавказе. // Доклады Академии наук. – 2016а. – Т. 466. №2. – С. 193-195.
8. Богущ И. А., Бурцев А. А., Рябов Г. В. и др. Благородные металлы черносланцевого комплекса Уруп-Лабинского района Северного Кавказа. // Грозненский Естественно-научный бюллетень. – 2016б. – №3 (3). – С. 25-32.
9. Богущ И. А., Бурцев А. А., Рябов Г. В. Минералы благородных металлов и их источники на Северном Кавказе. // Наука юга России. – 2017. – Т. 13. №2. – С. 34-40.
10. Буряк В. А. Метаморфогенное рудообразование. – М.: Недра, 1981. – 256 с.
11. Буряк В. А. Минерогения золота. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 262 с.
12. Буряк В. А., Горячев Н. А., Сидоров В. А. и др. Основные литостратиграфические уровни юго-востока Яно-Колымского золотоносного пояса, благоприятные для локализации оруденения. // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий / Билибинские чтения. Том 2. Металлогения. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – С. 143-145.
13. Буряк В. А., Гончаров В. И., Горячев Н. А. Эволюционный ряд крупнообъемных золото-платиноидных месторождений в углеродистых толщах. // Доклады Академии наук. – 2002а. – Т. 387. №4. – С. 512-515.
14. Буряк В. А., Михайлов Б. К., Цымбалюк Н. В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ. // Руды и металлы. – 2002б. – №6. – С. 25-36.
15. Буряк В. А., Гончаров В. И., Горячев Н. А. и др. О соотношении кварцевожильной золотой и вкрапленной золото-сульфидной минерализаций с платиноидами в черносланцевых толщах. // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 400. №1. – С. 56-59.
16. Великанов А. Я., Сазонов В. Н. РЗЭ и другие микроэлементы в геологических образованиях золоторудного месторождения Ашка // Вестник УрО РМО. 2010. №7. С. 14-19.
17. Гамянин Г. Н., Горячев Н. А. Изотопно-геохимические исследования золоторудно-магматических систем. // Магматизм и метаморфизм Северо-Востока Азии. Материалы IV регионального петрографического совещания по Северо-Востоку России. – Магадан. – 2000. – С. 136-140.
18. Гончаров В. И., Ворошин С. В., Сидоров В. А. и др. Платиноносность золоторудных месторождений в черносланцевых толщах Северо-Востока России: проблемы и перспективы. // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке. – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. 2. Кн. 2. – С. 156-161.

19. Гончаров В. И., Гамянин Г. Н., Сидоров В. А. и др. Элементы платиновой группы в золоторудных месторождениях мезозойских черносланцевых толщ Северо-Востока России. // *Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, экономика, экология.* – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2004. – С. 53-55.
20. Гончаров В. И., Ворошин С. В., Сидоров В. А. Наталкинское золоторудное месторождение. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – 250 с.
21. Горячев Н. А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – 143 с.
22. Горячев Н. А., Гамянин Г. Н. Изотопно-геохимические исследования золоторудно-магматических систем. // *Магматизм и метаморфизм Северо-Востока Азии.* – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. – С. 136-140.
23. Горячев Н. А., Соцкая О. Т., Михалицына Т. И. и др. Оценка Au-Pt-Pd-Ni в рудах типовых месторождений (Наталка, Дегдекан) в черносланцевых толщах Яно-Колымского золоторудного пояса. // *Проблемы минералогии России.* – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004.
24. Гурбанов А. Г., Лексин А. Б., Газеев В. М. и др. Вариации содержаний макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах в промышленных отходах Фиагдонского хвостохранилища (Республика Северная Осетия-Алания). // *Вестник ВНЦ РАН.* – 2019а. – Т. 19. № 1. – С. 59-68.
25. Гурбанов А. Г., Богатиков О. А., Лексин А. Б. и др. Первые данные о вариациях содержаний макро-, микроэлементов и благородных металлов в вертикальных разрезах в промышленных отходах Фиагдонского хвостохранилища (Республика Северная Осетия-Алания). // *Доклады Академии наук.* – 2019. – Т. 487. № 1. – С. 67-70.
26. Гурская Л. И. Платинометальное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 208 с.
27. Додин Д. А., Чернышов Н. М., Чередникова О. И. Металлогения платиноидов крупных регионов России. – М.: Геоинформмарк, 2001. – 302 с.
28. Додин Д. А., Золоев К. К., Коротеев В. А. и др. Углеродистые формации – новый крупный источник платиновых металлов XXI века. – М.: Геоинформмарк, 2007. – 130 с.
29. Жмодик С. М., Миронов А. Г., Жмодик А. С. Золото-концентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муйского пояса). – Новосибирск: Гео, 2008. – 304 с.
30. Кабаев О. Д. Распределение и формирование благородных и редких металлов в докембрийских толщах Центральной зоны Северного Тянь-Шаня. // *Известия Вузов.* – 2005. – № 4. – С. 13-15.
31. Кабаев О. Д., Валяев В. П., Сатвинский В. А. Геологическое строение площади рудопроявления Кенсу-Карамако и предложения по проведению поисково-разведочных работ. // 8-я Международная конференция. Кыргызская горная ассоциация. – Бишкек. – 2003. – С. 25-29.
32. Калмурзаев К. С., Сартбаев М. К. и др. Металлоносные углеродистые отложения Кыргызстана. – Бишкек: Илим, 1992. – 195 с.
33. Ковалев С. Г. Рифтогенный магматизм и благороднометальное оруденение Западного склона Южного Урала. // *Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии. Мат конф.* – М.: ИГЕМ РАН, 2008. – С. 85-87.
34. Константинов М. М., Некрасов В. А., Сидоров А. А. и др. Золоторудные гиганты России и мира. – М.: Научный мир, 2000. – 272 с.
35. Лаверов Н. П., Дистлер В. В. и др. Платина и другие самородные металлы в рудах месторождения золота Сухой Лог. // *Доклады РАН.* – 1997. – Т. 355. № 5. – С. 664-668.
36. Лазаренков В. Г., Смыслов А. А., Тихомиров Л. И. Платинометальные провинции России. // *Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов.* – СПб.: Санкт-Петербургский горный институт, 1998. – С. 210-230.

37. Моисеенко В. Г., Степанов В. А., Эйриш Л. В., Мельников А. В. Платиноносность Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2004. – 176 с.
38. Новожилов Ю. М., Гаврилов А. М. Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. – М.: Изд. ЦНИГРИ, 1999. – 175 с.
39. Парада С. Г. О платиноносности Северного Кавказа. // Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования. Материалы VII международной научно-практической конференции (Новочеркасск, 1 декабря 2009 г.). – Новочеркасск: Центр оперативной полиграфии ЮРГТУ, 2009. – С. 10-13.
40. Платина России. Новые нетрадиционные типы платиносодержащих месторождений. // Результаты и направления работ по программе «Платина России». Сб. науч. трудов. Т. VI. – М.: Геоинформмарк, 2005. – 320 с.
41. Плюснина Л. П., Ханчук А. И., Гончаров В. И. и др. Золото, платина и палладий в рудах Наталкинского месторождения (Верхне-Колымский регион). // Доклады РАН. – 2003. – Т. 391. № 3. – С. 383-387.
42. Рудашевский Н. С., Кнауф В. В., Чернышов Н. М. Минералы платиновой группы из черных сланцев КМА. // Доклады РАН. – 1995. – Т. 334. № 1. – С. 91-95.
43. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Поленов Ю. А., Великанов А. Я. К проблеме «черносланцевого золота» на Урале. // Месторождения полезных ископаемых. Ежегодник-2010. Вып. 158. – Екатеринбург: Тр. ИГГ УрО РАН, 2010. – С. 179-181.
44. Сазонов В. Н., Коротеев В. А., Огородников В. Н. и др. Золото в «черных сланцах» Урала. // Литосфера. – 2011. – № 4. – С. 70-92.
45. Ханчук А. И., Плюснина И. П., Молчанов В. П. Первые данные о золото-платиноидном оруденении в углеродистых породах Ханкайского массива и прогноз крупного месторождения благородных металлов в Приморском крае. // Доклады РАН. – 2004. – Т. 397. № 4. – С. 524-529.
46. Холин В. М. Геология, геодинамика и металлогения раннепротерозойских структур КМА. // Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. – Воронеж. – 2001. – 24 с.
47. Чернышов Н. М. Формационно-генетическая типизация платинометалльного оруденения и перспективы наращивания минерально-сырьевого потенциала платиновых металлов России. // Вестник Воронежского ун-та. Сер. Геология. – 1996а. – Вып. 2. – С. 75-85.
48. Чернышов Н. М. Новый тип золото-платинометалльного оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ (закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и геолого-генетическая модель формирования). // Вестник Воронежского ун-та. Сер. Геология. – 1996б. – № 1. – С. 114-132.
49. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.
50. Чернышов Н. М. Благороднометалльносодержащие парагенезисы сульфидов и их аналогов в железорудных месторождениях КМА (Центральная Россия). // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – 2007. – Вып. 1. – С. 101-114.
51. Чернышов Н. М. Минералогия золото-платинометалльного оруденения железорудных месторождений-гигантов (Центральная Россия). // Доклады научной сессии геологического факультета Воронежского государственного университета, 4-29 апреля 2011 г. – Воронеж. – 2011. – Вып. 1. – С. 3-23.
52. Чернышов Н. М., Попкова Н. В. Золото-платиноносная рудовмещающая система стратиформного типа в докембрийских образованиях Михайловского рудного узла КМА. // Вестник Воронежского гос. ун-та. Сер. Геология. – 2006. – № 2. – С. 159-166.
53. Чернышов Н. М., Холин В. М., Стрик Ю. Н. Металлогения Алексеевско-Воронежской рифтогенной зоны КМА. // Рифтогенез, магматизм, металлогения докембрия. Корреляция геологических комплексов Феноскандии. Материалы Междунар. конф. – Петрозаводск. – 1999. – С. 53-54.
54. Чернышов Н. М., Альбеков А. Ю., Абрамов В. В. и др. Золото-платинометалльное оруденение в черных сланцах, железных рудах и техногенных продуктах месторождений

гигантов КМА Центральной России (типы, состав, ресурсы и комплексное освоение). // Проблемы минерации России. – 2011. – С. 59-66.

55. Carville D.P., Leckie J.F., Moorhead J.G. et al. Coronation Hill gold-platinum deposit. // *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea*. – 1990. – Vol. 1. – pp. 759-762.

56. Crauch R.I., Coveney R.M., Murawchick J.B. et al. Black shales as hostes for unconventional platinum-group-element resources. Example from Southern China end the Yukon, Canada, and implications for US resources. // *US Geol. Surv.* – 1991. – No. 1062. – pp. 33-34.

57. Large R., Maslennikov V., Robert F. et al. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoy Log deposits, Lena gold province, Russia. // *Econ. Geol.* – 2007. – Vol. 102. – pp. 1233-1267.

58. Hodge V.P., Stallard M., Koide M., Goldberg E. D. Platinum and palladium anomaly in the marine environment. // *Earth Planetary Science Letters*. – 1985. – Vol. 72. No. 2-3. – pp. 158-162.

59. Sparrow G.J., Woodcock J.T. Some mineralogical and metallurgical factors in the recovery of platinum-group elements from ores. // *Abstr. VIth Internation Platinum symposium*. – Perth, W. Australia. – 1991. – pp. 48-49.

60. Tarkian M., Koopman G. Platinum-group minerals in the Santo Tomas II (Philex) porphyry copper-gold deposit, Luzon Island, Phillipines. // *Mineral. Deposita*. – 1995. – Vol. 30. – pp. 39-47.

61. Werle J.L., Ikramuddin M., Mutshler F.E. Allaed stock, La Plata Mountains, Colorado – peralkaline rock-hosted porphyry copper-precious metal district. // *Canadian J. Earth. Sci.* – 1984. – Vol. 21. No. 6. – pp. 630-641.

References

1. Anan'ev Yu. S., Korobeinikov A.F. *Metasomatism and noble metal mineralization in the black shale strata of Western Kalba*. Tomsk, Tomsk State University, 2009. 206 p. (In Russ.)

2. Asanaliev U.A., Kabaev O.D., Turdukeev I.D. Precambrian stratiform deposits and patterns of their formation. Geodynamics, metallogeny of minerals and geoecology. In: *Proceedings of research papers*. Bishkek, 1999. pp. 100-121. (In Russ.)

3. Barannikov A. G. Gold content of the Goginsky ore-alluvial cluster. Yekaterinburg, UGGU, 2006. 198 p. (In Russ.)

4. Bogush I.A. Noble metals of the carbon-bearing formation of the Peredovoi Ridge of the North Caucasus. *New Ideas in Earth Sciences*. In: *Book of abstracts of the V international conference*. Vol. 2. Moscow. MGGA, 2001. pp. 190-191. (In Russ.)

5. Bogush I.A., Ryabov G. V., Kaftanatii A. B. Platinum group minerals in the alluvium of the Urup – Bolshaya Laba river basin (North Caucasus). *Reports of the Academy of Sciences*, 2010. Vol. 435. No. 3. pp. 357-360. (In Russ.)

6. Bogush I.A., Burtsev A.A., Cherkashin V.I. Noble metals in black shales of the Urup-Labinsk region of the North Caucasus. *Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus*. In: *Proceedings of the V scientific and technical conference*. RNO-Alania, October 22-25, 2015, Vladikavkaz, 2015. pp. 34-39. (In Russ.)

7. Bogush I.A., Cherkashin V.I., Ryabov G.V. et al. A new type of mineralization of precious metals in the North Caucasus. *Reports of the Academy of Sciences*, 2016a. Vol. 466. No. 2. pp. 193-195. (In Russ.)

8. Bogush I.A., Burtsev A.A., Ryabov G.V. et al. Noble metals of the black shale complex of the Urup-Labinsk region of the North Caucasus. *Grozny Natural Science Bulletin*, 2016b. No. 3 (3). pp. 25-32. (In Russ.)

9. Bogush I.A., Burtsev A.A., Ryabov G.V. Minerals of noble metals and their sources in the North Caucasus. *Science of the Russian South*, 2017. Vol. 13. No. 2. pp. 34-40. (In Russ.)

10. Buryak V.A. *Metamorphogenic ore formation*. Moscow. Nedra, 1981. 256 p. (In Russ.)

11. Buryak V.A. Minerageny of gold. Vladivostok, Dal'nauka, 2003. 262 p. (In Russ.)
12. Buryak V.A., Goryachev N.A., Sidorov V.A. et al. The main lithostratigraphic levels of the southeast of the Yano-Kolyma gold-bearing belt, favorable for the localization of mineralization. In: Problems of geology and metallogeny of North-East Asia at the turn of the millennium. Vol. 2. Metallogeny. Magadan: SVKNII FEB RAS, 2001. pp. 143-145. (In Russ.)
13. Buryak V.A., Goncharov V.I., Goryachev N.A. Evolutionary series of large-volume gold-platinoid deposits in carbonaceous strata. Reports of the Academy of Sciences, 2002a. Vol. 387. No. 4. pp. 512-515. (In Russ.)
14. Buryak V.A., Mikhailov B.K., Tsymbalyuk N.V. Genesis, distribution patterns and prospects of gold and platinum-bearing black shale strata. Ores and metals, 2002b. No. 6. pp. 25-36. (In Russ.)
15. Buriak V.A., Goncharov V.I., Goryachev N.A. et al. About the ratio of quartz-veined gold and disseminated gold-sulfide mineralization with platinoids in black shale strata. Reports of the Academy of Sciences. 2005. Vol. 400. No. 1. pp. 56-59. (In Russ.)
16. Velikanov A. Ya., Sazonov V.N. REE and other trace elements in geological formations of the Ashka gold deposit. Bulletin of the UrO RMO. 2010. No. 7. pp. 14-19. (In Russ.)
17. Gamyanin G.N., Goryachev N.A. Isotope-geochemical studies of gold-ore-magmatic systems. Magmatism and metamorphism of Northeast Asia. In: Proceedings of the IV regional petrographic meeting on the North-East of Russia. Magadan. 2000. pp. 136-140. (In Russ.)
18. Goncharov V.I., Voroshin S.V., Sidorov V.A. et al. Platinum-bearing gold deposits in black shale strata of the North-East of Russia, problems and prospects. Platinum of Russia. Problems of the development of the mineral resource base of platinum metals in the XXI century. Moscow. Geoinformmark, 1995. Vol. 2. Book. 2. pp. 156-161. (In Russ.)
19. Goncharov V.I., Gamyanin G.N., Sidorov V.A. et al. Platinum group elements in gold deposits of Mesozoic black shale strata of the North-East of Russia. Gold of Siberia and the Far East, geology, geochemistry, economics, ecology. Ulan-Ude: Published by Buryat Scientific Center SB RAS, 2004. pp. 53-55. (In Russ.)
20. Goncharov V.I., Voroshin S.V., Sidorov V.A. Natalka gold ore deposit. Magadan, SVKNII FEB RAS, 2002. 250 p. (In Russ.)
21. Goryachev N.A. Origin of gold-quartz vein belts of the North Pacific. Magadan, NEISRI FEB RAS, 2003. 143 p. (In Russ.)
22. Goryachev N.A., Gamyanin G.N. Isotope-geochemical studies of gold-ore-magmatic systems. Magmatism and metamorphism of Northeast Asia. Magadan: NEISRI FEB RAS, 2000. pp. 136-140. (In Russ.)
23. Goryachev N.A., Sotskaya O.T., Mikhailitsyna T.I. et al. Estimation of Au-Pt-Pd-Ni in ores of typical deposits (Natalka, Degdekan) in black shale strata of the Yano-Kolyma gold-ore belt. Problems of Minerageny in Russia. Magadan: NEISRI FEB RAS, 2004. (In Russ.)
24. Gurbanov A.G., Leksin A.B., Gazeev V.M. et al. Variations in the content of macro- and microelements in vertical sections in industrial waste of the Fiagdon tailing dump (Republic of North Ossetia-Alania). Bulletin of VSC RAS. 2019a. Vol. 19. No. 1. pp. 59-68. (In Russ.)
25. Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Leksin A.B. et al. The first data on variations in the content of macro-, microelements and precious metals in vertical sections in the industrial waste of the Fiagdon tailing dump (Republic of North Ossetia-Alania). Reports of the Academy of Sciences. 2019. Vol. 487. No. 1. pp. 67-70. (In Russ.)
26. Gurskaya L.I. Platinum-metal mineralization of the black shale type and criteria for its prediction. Saint Petersburg. Publishing house VSEGEI, 2000. 208 p. (In Russ.)
27. Dodin D.A., Chernyshov N.M., Cherednikova O.I. Metallogeny of platinoids in large regions of Russia. Moscow. Geoinformmark, 2001. 302 p. (In Russ.)
28. Dodin D.A., Zoloev K.K., Koroteev V.A. et al. Carbonaceous formations – a new major source of platinum metals in the XXI century. Moscow. Geoinformmark, 2007. 130 p. (In Russ.)

29. Zhmodik S. M., Mironov A. G., Zhmodik A. S. Gold-concentrating systems of ophiolite belts (on the example of the Sayan-Baikal-Muisky belt). – Novosibirsk: Geo, 2008. 304 p. (In Russ.)
30. Kabaev O. D. Distribution and formation of noble and rare metals in the Precambrian strata of the Central zone of the Northern Tien Shan. *Izvestiya Vuzov*. 2005. No. 4. pp. 13-15. (In Russ.)
31. Kabaev O. D., Valyaev V. P., Satvinsky V. A. Geological structure of the Kentsu-Karamako ore occurrence area and proposals for prospecting and exploration. In: Proceedings of 8th International Conference. Kyrgyz Mining Association. Bishkek. 2003. pp. 25-29. (In Russ.)
32. Kalmurzaev K. S., Sartbaev M. K. et al. Metalliferous carbonaceous deposits of Kyrgyzstan. Bishkek, Ilim, 1992. 195 p. (In Russ.)
33. Kovalev S. G. Riftogenic magmatism and precious metal mineralization of the Western slope of the Southern Urals. In: Proceedings Problems of geology of ore deposits, mineralogy, petrography and geochemistry. Moscow. IGEM RAS, 2008. pp. 85-87. (In Russ.)
34. Konstantinov M. M., Nekrasov V. A., Sidorov A. A. et al. Gold ore giants of Russia and the world. Moscow. Nauchnyi mir, 2000. 272 p. (In Russ.)
35. Laverov N. P., Distler V. V. et al. Platinum and other native metals in ores of the Sukhoi Log gold deposit. *DOKLADY AKADEMII NAUK*. 1997. Vol. 355. No. 5. pp. 664-668. (In Russ.)
36. Lazarenkov V. G., Smyslov A. A., Tikhomirov L. I. Platinum provinces of Russia. Large and unique deposits of rare and noble metals. Saint-Petersburg. Saint-Petersburg Mining Institute, 1998. pp. 210-230. (In Russ.)
37. Moiseenko V. G., Stepanov V. A., Eirish L. V., Mel'nikov A. V. Platinum content of the Far East. Vladivostok, Dalnauka, 2004. 176 p. (In Russ.)
38. Novozhilov Yu. M., Gavrilov A. M. Gold-sulfide deposits in carbonaceous-terrigenous strata. Moscow. Ed. TsNIGRI, 1999. 175 p. (In Russ.)
39. Parada S. G. About the platinum content of the North Caucasus. Problems of geology, planetology, geoecology and rational nature management. In: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference (Novocherkassk, December 1, 2009). Novocherkassk, Center for Operational Printing YRSTU, 2009. pp. 10-13. (In Russ.)
40. Platinum of Russia. New unconventional types of platinum-bearing deposits. Results and directions of work under the Platinum of Russia program. Proceedings of research papers. Vol. VI. Moscow. Geoinformmark, 2005. 320 p. (In Russ.)
41. Plyusnina L. P., Khanchuk A. I., Goncharov V. I. et al. Gold, platinum and palladium in the ores of the Natalka deposit (Verkhne-Kolyma region). *DOKLADY AKADEMII NAUK*. 2003. Vol. 391. No. 3. pp. 383-387. (In Russ.)
42. Rudashevskii N. S., Knauf V. V., Chernyshov N. M. Platinum group minerals from KMA black shales. *DOKLADY AKADEMII NAUK*. 1995. Vol. 334. No. 1. pp. 91-95. (In Russ.)
43. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Polenov Yu. A., Velikanov A. Ya. On the problem of "black shale gold" in the Urals. Mineral deposits. Yearbook 2010. Issue 158. Yekaterinburg, Proceedings of IGG UB RAS, 2010. pp. 179-181. (In Russ.)
44. Sazonov V. N., Koroteev V. A., Ogorodnikov V. N. et al. Gold in the "black shale" of the Urals. *Litosfera*. 2011. No. 4. pp. 70-92. (In Russ.)
45. Khanchuk A. I., Plyusnina I. P., Molchanov V. P. The first data on gold-platinoid mineralization in carbonaceous rocks of the Khanka massif and the forecast of a large deposit of precious metals in the Primorsky Territory. *DOKLADY AKADEMII NAUK*. 2004. Vol. 397. No. 4. pp. 524-529. (In Russ.)
46. Kholin V. M. Geology, geodynamics and metallogeny of the Early Proterozoic structures of the KMA. Abstract of a thesis, geological sciences. Voronezh. 2001. 24 p. (In Russ.)
47. Chernyshov N. M. Formation-genetic typification of platinum ore mineralization and the prospects for increasing the mineral resource potential of platinum metals in Russia. Bulletin of Voronezh University. Ser. Geology. 1996a. Issue 2. pp. 75-85. (In Russ.)

48. Chernyshov N. M. A new type of gold-platinum-metal mineralization in stratified black shale complexes of the VKM (distribution patterns, mineralogical and geochemical features and geological and genetic model of formation). *Bulletin of Voronezh University. Ser. Geology.* 1996b. No. 1. pp. 114-132. (In Russ.)
49. Chernyshov N. M. Platinum-bearing formations of the Kursk-Voronezh region (Central Russia). Voronezh. Publishing House of Voronezh State University, 2004. 448 p. (In Russ.)
50. Chernyshov N. M. Noble metal-bearing parageneses of sulfides and their analogues in the iron ore deposits of the KMA (Central Russia). *Bulletin of the Voronezh State University. Ser. Geology.* 2007. Issue. 1. pp. 101-114. (In Russ.)
51. Chernyshov N. M. Mineralogy of gold-platinum mineralization of giant iron ore deposits (Central Russia). In: Reports of the scientific session of the Geological Faculty of Voronezh State University, April 4-29, 2011 Voronezh. 2011. Issue 1. pp. 3-23. (In Russ.)
52. Chernyshov N. M., Popkova N. V. Gold-platinum-bearing ore-bearing system of the stratiform type in the Precambrian formations of the Mikhailovsky ore cluster of the KMA. *Bulletin of the Voronezh State University. Ser. Geology.* 2006. No. 2. pp. 159-166. (In Russ.)
53. Chernyshov N. M., Kholin V. M., Strik Yu. N. Metallogeny of the Alekseevsko-Voronetskayariftogenic zone of the KMA. Riftogenesis, magmatism, Precambrian metallogeny. Correlation of geological complexes of Fenoscandia. In: Proceedings of the Intern. conf. Petrozavodsk. 1999. pp. 53-54. (In Russ.)
54. Chernyshov N. M., Al'bekov A. Yu., Abramov V. V. et al. Gold-platinum mineralization in black shale, iron ores and technogenic products of giant deposits of the KMA in Central Russia (types, composition, resources and integrated development). In: Problems of Minerageny in Russia. 2011. pp. 59-66. (In Russ.)
55. Carville D. P., Leckie J. F., Moorhead J. G. et al. Coronation Hill gold-platinum deposit. *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea.* 1990. Vol. 1. pp. 759-762.
56. Crauch R. I., Coveney R. M., Murawchick J. B. et al. Black shales as hostes for unconventional platinum-group-element resources. Example from Southern China and the Yukon, Canada, and implications for US resources. *US Geol. Surv.* 1991. No. 1062. pp. 33-34.
57. Large R., Maslennikov V., Robert F. et al. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoy Log deposits, Lena gold province, Russia. *Econ. Geol.* 2007. Vol. 102. pp. 1233-1267.
58. Hodge V. P., Stallard M., Koide M., Goldberg E. D. Platinum and palladium anomaly in the marine environment. *Earth Planetary Science Letters.* 1985. Vol. 72. No. 2-3. pp. 158-162.
59. Sparrow G. J., Woodcock J. T. Some mineralogical and metallurgical factors in the recovery of platinum-group elements from ores. *Abstr. VIth Internation Platinum symposium.* Perth, W. Australia. 1991. pp. 48-49.
60. Tarkian M., Koopman G. Platinum-group minerals in the Santo Tomas II (Philex) porphyry copper-gold deposit, Luzon Island, Phillipines. *Mineral. Deposita.* 1995. Vol. 30. pp. 39-47.
61. Werle J. L., Ikramuddin M., Mutshler F. E. Allaeed stock, La Plata Mountains, Colorado – peralkaline rock-hosted porphyry copper-precious metal district. *Canadian J. Earth. Sci.* 1984. Vol. 21. No. 6. pp. 630-641.