

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 552.323.5

DOI 10.46698/VNC.2023.46.37.001

Повышенные концентрации благородных металлов в промышленных отходах Фиагдонской обогатительной фабрики и их интерпретация (PCO-A, Северный Кавказ)

Анатолий Георгиевич Гурбанов

Институт геологии рудных месторождений петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, г. Москва; Владикавказский научный центр Российской академии наук, ведущий научный сотрудник, Россия, Владикавказ, e-mail: ag.gurbanov@yandex.ru

Александр Яковлевич Докучаев

ИГЕМ РАН, ведущий научный сотрудник, заведующий Рудно-петрографическим сектором-музеем, кандидат геолого-минералогических наук, Москва, Россия, e-mail: alexandre-dokuchayev@yandex.ru

Виктор Магалимович Газеев

ИГЕМ РАН, научный сотрудник, г. Москва; ВНЦ РАН, Комплексный научно-исследовательский отдел, старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, Россия, Владикавказ, e-mail: gazeev@igem.ru

Алексей Борисович Лексин

ИГЕМ РАН, лаборатория «Геоинформатика», специалист, Россия, г. Москва, e-mail: lexin@igem.ru

Алан Батразович Лолаев

Владикавказский научный центр Российской академии наук, Комплексный научно-исследовательский отдел, главный научный сотрудник, доктор технических наук, Россия, PCO-Алания, с. Михайловское; Северо-Осетинский государственный университет имени К.Л. Хетагурова, главный научный сотрудник, зав. кафедрой, профессор, Россия, Владикавказ, e-mail: abl-2010@mail.ru

Ольга Александровна Гурбанова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, ассистент кафедры минералогии и кристаллохимии, кандидат химических наук, Россия, Москва, e-mail: gur_o@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследований. Главные перспективы PCO-A на обнаружение промышленно-значимого золото-сульфидно-кварцевого типа руд тесно 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. На территории Северной Осетии благороднометалльное (золото, платина, элементы платиновой группы) оруденение черносланцевого типа, по нашим данным, локализовано в тоар-ааленских флишоидных углеродсодержащих терригенных отложениях, обнажающихся в пределах Афсандур-Ламардонского рудного поля (АЛРП). Вовлечение в поисково-разведочные работы этого стратегического минерального типа оруденения даст возможность расширить минерально-сырьевую базу Южного федерального округа России. **Цель исследований** – выявление повышенных содержаний благородных металлов в промышленных отходах Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ) и в рудовмещающих тоар-ааленских черносланцевых толщах. ФОФ перерабатывала руды только полиметаллических месторождений Кадат и Какадур, локализованных в тоар-ааленских флишоидных углеродсодержащих терригенных отложениях. **Методы исследования.** ICP-MS методом проанализированы 5 проб в ЦКП «ИГЕМ-Аналитика» на масс-спектрометре X-Series II и 38 проб – в Лаборатории физико-химических и химических методов анализа Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) на приборе Elan 6100 DRC. **Обсуждение полученных результатов.** Установленные в 43 пробах (из керна скважин Фиагдонского хвостохранилища – ФХ) повышенные содержания благородных металлов можно объяснить возможным наличием как в рудах АЛРП, так и во вмещающей их ниже-среднеюрской углеродсодержащей (2.5–3.2 мас. % УГВ) песчано-глинистой флишоидной толще нового для Северного Кавказа ниже-среднеюрского золото-платиноидного с полиметаллами оруденения черносланцевого типа. Предложена модель образования золото-платиноидного с полиметаллами оруденения черносланцевого типа за счет конвекции вадозных вод в высокометаллоносных (Au, Ag, Pt, Pd и др.) ранне-среднеюрских флишоидных толщах алеволито-аргиллитового состава. В пределах АЛРП, при проводящихся АОО «Росгеология» в последние годы на территории PCO-A поисковых работах на золото-кварцевый и золото-сульфидный типы оруденения, необходимо проанализировать на платину и элементы платиновой группы (ЭПГ) все дубликаты отобранных ранее рудных проб; таким образом может быть выявлен, при наличии благоприятных структурно-литологических условий, ряд промышленно значимых объектов с золото-платиноидным с полиметаллами оруденением в черносланцевых толщах тоар-ааленского возраста.

Ключевые слова: золото-платиноидное с полиметаллами оруденение, черносланцевые толщи, источники благороднометалльного оруденения, рудовмещающие углеродсодержащие аргиллиты, Афсандур-Ламардонское рудное поле.

Для цитирования: Гурбанов А.Г., Докучаев А.Я., Газеев В.М., Лексин А.Б., Лолаев А.Б., Гурбанова О.А. Повышенные концентрации благородных металлов в промышленных отходах Фиагдонской обогатительной фабрики и их интерпретация (PCO-A, Северный Кавказ) // Вестник Владикавказского научного центра. 2023. Т. 23. № 3. С. 54–65. DOI 10.46698/VNC.2023.46.37.001

Работа выполнена в рамках Базовой темы Лаборатории петрографии ИГЕМ РАН «Петрология и минерагения магматизма конвергентных и внутриплитных обстановок: история формирования крупных континентальных блоков» (рег. № ЕГИСУ НИОКТР 121041500222-4) и по плану НИР ВНЦ РАН при финансовой поддержке НИОКТР КНИО ВНЦ РАН (рег. №122041100269-2).

Increased precious metal concentrations in industrial waste of the Fiagdon processing factory and their interpretation (RNO-A, North Caucasus)

Anatoly G. Gurbanov

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Leading Researcher, Russia, Moscow; Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Integrated Research Department, Leading Researcher, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Russia, Vladikavkaz, e-mail: ag.gurbanov@yandex.ru

Alexander Ya. Dokuchaev

IGEM RAS, Leading Researcher, Head of the Ore-Petrographic Sector-Museum, PhD, Russia, Moscow, e-mail: alexandre-dokuchayev@yandex.ru

Виктор Магалимович Газеев

ИГЕМ РАН, научный сотрудник, г. Москва; ВНЦ РАН, Комплексный научно-исследовательский отдел, старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, Россия, Владикавказ, e-mail: gazeev@igem.ru

Alexey B. Leksin

IGEM RAS, Lead Programmer, Russia, Moscow, e-mail: lexin@igem.ru

Alan B. Lolaev

Vladikavkaz Scientific Center of the Russian academy of sciences, Complex research department, Chief Researcher; North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, Chief Researcher; Dr., Professor, Russia, Vladikavkaz, e-mail: abl-2010@mail.ru

Olga A. Gurbanova

Moscow State University M.V. Lomonosov, Faculty of Geology, Assistant of the Department of Mineralogy and Crystal Chemistry, PhD, Russia, Moscow, e-mail: gur_o@mail.ru

Abstract. Relevance of research. The main prospects of RNO-A for the discovery of an industrially significant gold-sulfide-quartz ore type are closely related to the Fiagdon-Tersky structural-formational subzone, in which the Dagom-Tersky ore region with three ore fields is distinguished: Dagom-Tersky, Afsandur-Lamardonsky and Dagom - Kadatsky. On the territory of North Ossetia, precious metal (gold, platinum, elements of the platinum group) black shale type mineralization is localized in the Toar-Aalen flyschoid carbonaceous terrigenous deposits exposed within the Afsandur-Lamardon ore field (ALOF). Involvement in prospecting and exploration of this strategic mineral type of mineralization will provide an opportunity to expand the mineral resource base of the Southern Federal District of Russia. **The purpose of the research** is to identify elevated contents of precious metals in the industrial wastes of the Fiagdonskaya concentrating plant (FCP) and in the ore-bearing Toar-Aalen black shale strata. The FCP processed ores only from the Kadat and Kakadur polymetallic deposits localized in the Toar-Aalen flyschoid carbonaceous terrigenous deposits of the ALOF. **Research methods.** 5 samples were analyzed by the ICP-MS method at the IGEM-Analytika Center on an X-Series II mass spectrometer and 38 samples at the Laboratory of Physicochemical and Chemical Methods of Analysis of the Institute of Geological Surveys on an Elan 6100 DRC instrument. **Discussion of the obtained results.** Elevated concentrations of precious metals found in 43 samples (in well cores) of the Fiagdon tailing (FT) can be indirectly explained by the possible presence both in the ores of ALOF and in the enclosing Lower-Middle Jurassic carbon-bearing (2.5-3.2 wt.% CM) sandy-argillaceous flyschoid stratum of the Lower-Middle Jurassic gold-platinoid mineralization with polymetals of the black shale type stratum, new for the North Caucasus. A model is proposed for the formation of gold-platinoid mineralization with polymetals of the black shale type due to convection of vadose waters in highly metal-bearing (Au, Ag, Pt, Pd, etc.) Early-Middle Jurassic flyschoid strata of siltstone-argillite composition. Within the framework of the ALOF, during recent years, conducted in the territory of the Republic of North Ossetia-A, AOO "Rosgeologiya", prospecting for gold-quartz and gold-sulfide types of mineralization, if all selected ore samples are analyzed for platinum and platinum group elements (PGE), then, in the presence of favorable structural and lithological conditions, a number of industrially significant objects with gold-platinoid mineralization with polymetals in the black shale strata of the Toar-Aalen age can be identified.

Keywords: gold-platinoid mineralization with polymetals, black shale strata, sources of precious metal mineralization, ore-bearing carbonaceous mudstones, Afsandur-Lamardon ore field.

For citation: Gurbanov A. G., Dokuchaev A. Y., Gazeev V. M., Leksin A. B., Lolaev A. B., Gurbanova O. A. Increased precious metal concentrations in industrial waste of the Fiagdon processing factory and their interpretation (RNO-A, North Caucasus) // Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center. 2023. Vol. 23. No 3. P. 54–65. DOI 10.46698/VNC.2023.46.37.001

ВВЕДЕНИЕ

В статье рассмотрены и интерпретированы геохимические данные о выявленных в захороненных промышленных отходах (ПО) Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ) резко повышенных концентраций золота, платины и элементов платиновой группы (ЭПГ) в проанализированных 43 пробах. ФОФ перерабатывала руды только полиметаллических месторождений Какадур и Кадат,

локализованных в тоар-ааленской терригенной углеродсодержащей (от 2.5 до 3.2 % УГВ) толще, развитой в пределах Афсандур-Ламардонского рудного поля (АЛРП). В статье приведена краткая характеристика Фиагдонского хвостохранилища (ФХ) и дано краткое описание тоар-ааленской терригенной флишоидной углеродсодержащей толщи, рудовмещающей как для месторождений Какадур и Кадат [4, 5], так и для АЛРП в целом. В последнем (АЛРП) выявлены минерализованные зоны, пер-

спективные на обнаружение месторождений золото-сульфидно-кварцевого с полиметаллами типа [9, 11].

Анализ геологических и полученных геохимических данных позволил предположить наличие причинно-следственной связи между повышенными концентрациями золота, платины и ЭПГ в промышленных отходах ФОФ и составами руд полиметаллических месторождений Кадат, Какадур и золото-сульфидно-кварцевыми с полиметаллами рудопоявлениями, выявленными в пределах АЛРП [9, 11].

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИАГДОНСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Фиагдонское хвостохранилище (ФХ) введено в эксплуатацию в 1970 г. с начала эксплуатации полиметаллических месторождений Какадур, Кадат и запуска Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ). Мероприятия по реабилитации (рекультивации) и контролю за сохранностью защитного почвенно-растительного слоя на ФХ не проводятся с момента его закрытия в 2003 г.

ФХ расположено в пойме р. Хаником-дон (правый приток р. Фиагдон, в 2.5 км к северу от пос. Верхний Фиагдон), протекающей в узком, каньонобразном ущелье широтного простирания. С северного и южного бортов оно ограничено скальными выходами раннеюрских песчано-сланцевых толщ. В северо-восточной части хвостохранилища ФОФ р. Хаником-дон входит в тоннель сечением около 9 м² и длиной 787 м, из которых 684 м пройдены в скальных породах, а 103 м (со стороны выходного портала) выполнены в форме галереи по дну хвостохранилища. Сечение водоотводного тоннеля принято с учетом пропуска максимального расхода воды р. Хаником-дон. ФХ имеет вытянутую в широтном направлении форму и отделено от долины р. Фиагдон высокой (до 35 м) насыпной дамбой (рис. 1).

Площадь ФХ составляет около 56 000 м² (длина по ущелью 800 м при ширине от 50 до 200 м). В нем захоронено ~ 2.4 млн тонн промышленных отходов с содержаниями (в масс. %), по данным ФОФ [1]: Pb – 0.19 (запасы 4 560 т); Zn – 0.36 (запасы 8 400 т); Cu – 0.12 (запасы 2 880 т); Fe – 6.8 (запасы 163 200 т); Ti – 0.16 (запасы 3 840 т); Mn – 0.14 (запасы 3 360 т); Ag – 4.0 г/т (запасы 9.6 т). Из рудных минералов в промышленных отходах присутствуют: сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, пирит, арсенопирит, ильменит, рутил, гематит, магнетит, маргансидерит, англезит, церуссит; редко присутствуют блёклые руды и самородное серебро.

Для получения объективных данных о характере распределения концентраций благородных

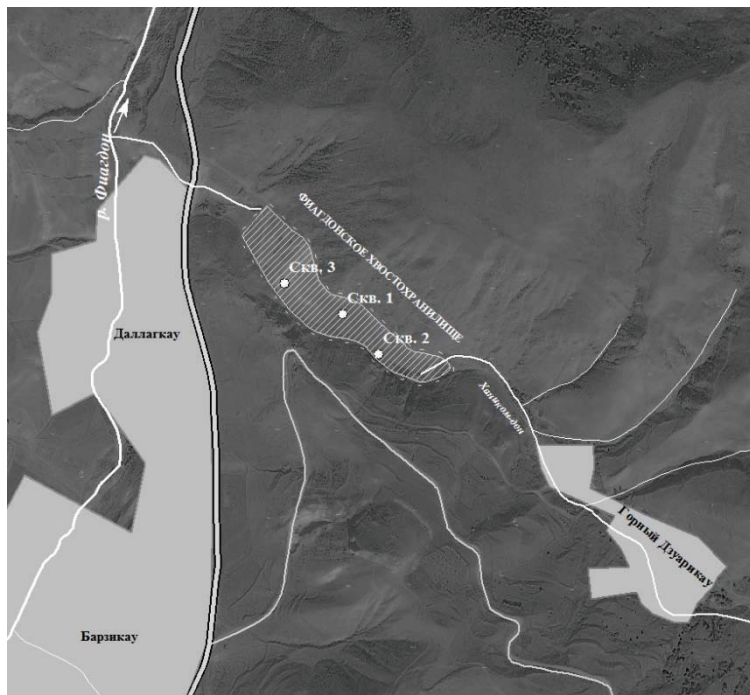


Рис. 1. Схема расположения Фиагдонского хвостохранилища и устьев скважин, пробуренных для пробоотбора на всю его мощность [4]

металлов (БМ) в вертикальных разрезах захороненных промышленных отходов ФОФ были пробурены на всю мощность ФХ и опробованы три скважины: скв. № 2 глубиной 10 м – на восточном крае ФХ; скв. № 1 глубиной 22 м – в центральной части ФХ; скв. № 3 глубиной 31.5 м – на западном крае ФХ.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РУДОВМЕЩАЮЩЕЙ ТОАР-ААЛЕНСКОЙ ЧЕРНОСЛАНЦЕВОЙ ТОЛЩИ

В пределах АЛРП рудовмещающими являются тоар-ааленские флишоидные углеродистые (2.5–3.2 % тонкораспыленного УГВ) отложения, представленные в основном глинистыми породами с редкими маломощными (до 0.2 м) прослоями косослоистых мелкозернистых песчаников с развитием характерных сингенетических сульфидов железа, образующих рассеянную вкрапленность, желваковые скопления и конкреции, что характерно для осадочных толщ, сформировавшихся в условиях конседиментационных впадин при восстановительном режиме осадконакопления. Для рудовмещающих отложений характерно постоянное присутствие примеси вулканогенного материала и повышенная фоновая металлоносность [10]. О близком расположении источника вулканитов свидетельствует низкая степень сортированности (до средней) и окатанности их обломков (от неокатанных до средней степени окатанности) [9].

В составе тоар-ааленской терригенной флишоидной толщ выделяются снизу вверх по стратиграфическому разрезу следующие свиты [11]:

Галиатская свита J1gl (нижний тоар) сложена аргиллитами (мощность 500–800 м) с конкрециями сферосидеритов. Для пород свиты характерны повышенные концентрации Cu, Pb, Zn, Au, Mn, Ni, Co.

Ксуртская свита J1ksr (средний тоар) сложена аргиллитами, алевролитами (мощность 600–700 м) с прослоями песчаников, мергелистых известняков с конкрециями сферосидеритов. Для пород характерны повышенные концентрации Pb, Zn, Au, Mn, Ni, Co, и в них расположено 6 рудопроявлений – золотосодержащие полиметаллические Дзири-Заур, Кармадонское и др.

Зинцарская свита J1-2zn (верхний тоар) сложена аргиллитами с прослоями песчаников и алевролитов (мощность 500–900 м), содержащими конкреции марказита и прослой глины. В песчаниках встречаются зерна кварца, чешуйки мусковита, хлоритизированные обломки вулканитов, УГВ.

Отзыкская и бейно свиты J2bn-ot (верхний аален), мощностью до 300–500 м, сложены глинистыми сланцами с редкими прослоями песчаников, алевролитов, линзами известняков. В песчаниках встречаются зерна кварца, чешуйки слюды, скопления хлорита и, редко, полевого шпата. Для пород характерны повышенные концентрации Cu, Zn, Ag, Au, Mn, Co, Sr, V, Mo, Ba, P, и в них расположено 20 проявлений: а) *золото-сульфидно-кварцевые* (Какадур-Ламардонское месторождение, рудопроявления Хаником и др.); б) *золотосодержащие полиметаллические* (Кадат, Цмити и др.) месторождения.

Высокая металлоносность тоар-ааленской терригенной углеродсодержащей толщи обусловлена повышенными фоновыми концентрациями Cu, Zn, Pb, Ni, Co и др., а также присутствием сингенетических и диагенетических вкрапленных, желваковых и конкреционных послойных выделений сульфидов Fe, Pb и Zn [10]. С сульфидной минерализацией связаны высокие концентрации золота, достигающие в конкрециях аномальных значений (от 0.2–0.4 г/т до первых г/т) [9].

Околорудные изменения вмещающих пород проявились в их объемном окварцевании, аргиллизации, хлоритизации, графитизации, пиритизации, а также в лимонитизации, распространяющейся на глубину до 10 м и представленной новообразованными окисленными минералами Zn (церуссит), Pb (англезит) и Cu (куприт, азурит) [12, 11]. Кварц образует мономинеральные участки и зоны пропитки пород. Околорудные изменения вмещающих пород имеют четко выраженную зональность, коррелирующуюся с интенсивностью тектонической проработки этих пород.

Поисковыми работами [9, 11] выявлен комплексный характер руд: в контурах кондиционного золотого оруденения установлены повышенные концентрации Ag (5.42–59.28 г/т), Cu (0.13–1.09 %), Zn (0.35–5.27 %) и Pb (0.49–3.78 %) (концентрации платины и ЭПГ не определялись). По данным минералогического изучения руд, они отнесены к золото-мышьяковисто-полиметаллическому типу с

тонкодисперсным золотом [11]. Вероятными минералами-носителями золота являются арсенопирит и мышьяковистый пирит, серебра – галенит. Связь золота с сульфидами подтверждена результатами анализа продуктов гравитации в лаборатории обогащения СКГМИ [9] – в пиритовом концентрате установлено содержание золота более 50 г/т.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для геохимических и минералогических исследований были отобраны 43 представительные пробы из керна трех скважин, пробуренных на всю мощность захороненных в ФХ промышленных отходов (методом пунктирной борозды с каждого метра – одна проба весом 500 г). Пробы представлены практически однородными серыми крупно-среднезернистыми лежалыми песками с редкими линзовидными маломощными (до 2 см) прослоями черного глинистого материала. Каждая проба упаковывалась в двойной герметически закрывающийся полиэтиленовый пакетик для длительного хранения. Для аналитических исследований, отобранные из каждой пробы отквартованные навески (до 40 г) дробились и истирались до размерности 100 меш. Остаток от каждой пробы (дубликат) упаковывался в двойной полиэтиленовый пакетик для хранения. Анализы проводились в ЦКП «ИГЕМ-АНАЛИТИКА» методами РФА (XRF) (на спектрометре последовательного действия PW-2400) и ICP MS (на масс-спектрометре XII ICP-MS Thermo Spectroscopy) и в лаборатории физико-химических и химических методов анализа ИМГРЭ методом ICP MS на Elan 6100 DRC. Исследования проводились с использованием стандартного раствора Perkin Elmer Pure Plus Atomic; Standard N 9300234 (для определения содержания Au, Ru, Pt, Pd, Rh и Ir) с пределами обнаружения (в г/т): Au – 0.001; Ag – 0.01; Pt – 0.001; Pd – 0.001; Ru – 0.001. Минералогические исследования промышленных отходов с целью выявления минералов-носителей золота и ЭПГ будут проведены на втором этапе исследований – в 2023–2024 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами проанализированы методами РФА (XRF) и ICP MS 43 пробы из захороненных в ФХ промышленных отходов для определения в них концентраций благородных металлов, макро- и микроэлементов (содержания ряда элементов взято из [6, таблицы 1–3]). Анализ имеющихся [5, 6] и приведенных в *таблице 1* и на *рис. 2–3* данных позволил выявить следующие закономерности в распределении концентраций благородных и базовых (для полиметаллических месторождений Садонского типа) металлов как в промышленных отходах ФОФ Садонского свинцово-цинкового комбината, так и в тоар-ааленской черносланцевой толще, вмещающей месторождения Кадат и Какадур в Афсандур-Ламардонском рудном поле [4].

Таблица 1

Содержание благородных металлов (в г/т) в керне скважин, пройденных в Фиагдонском хвостохранилище

Скважина	Глубина, м	Номера проб	Ru	Pd	Pt	Au	Ag
1	2	2/16	0.002	0.019	0.003	0.015	5.72
	4	4/16	0.001	0.021	0.000	0.028	2.83
	5	5/16	0.003	0.044	0.011	0.056	4.927
	6	6/16	0.003	0.021	0.001	0.016	3.42
	8	8/16	0.005	0.020	0.001	0.036	3.89
	10	10/16	0.004	0.04	0.006	0.004	4.913
	12	12/16	0.002	0.022	0.002	0.030	3.16
	14	14/16	0.004	0.037	0.008	0.064	3.893
	17	17/16	0.002	0.032	0.000	0.033	2.55
	18	18/16	0.001	0.024	0.005	0.042	3.620
	19	19/16*	0.001	0.049	0.66	0.08	н.о.
	20	20/16*	0.001	0.045	0.94	0.17	н.о.
21	21/16	0.002	0.046	0.006	0.068	4.649	
22	22/16	0.004	0.051	0.97	0.14	5.467	
Среднее по скважине № 1			0.003	0.03	0.19	0.06	4.09
Стандартное отклонение			0.001	0.01	0.37	0.05	1.04
2	2	24/16	0.002	0.028	0.001	0.037	2.47
	3	25/16	0.005	0.043	0.009	0.11	2.71
	4	26/16	0.005	0.035	0.005	0.015	2.12
	5	27/16	0.004	0.017	0.007	0.006	5.243
	6	28/16	0.003	0.03	0.004	0.016	6.348
	7	29/16	0.003	0.034	0.006	0.011	5.939
	8	30/16	0.001	0.014	0.008	0.024	5.701
	9	31/16*	0.001	0.046	1.29	0,05	н.о.
	10	32/16	0.002	0.028	0.007	0.027	6.168
Среднее по скважине № 2			0.003	0.03	0.17	0.03	4.36
Стандартное отклонение			0.002	0.01	0.45	0.03	1.84
3	2	34/16	0.004	0.036	0.011	0.039	5.823
	3	35/16	< п.о.	0.025	0.000	0.032	2.31
	6	38/16	0.002	0.013	0.002	0.026	2.56
	9	41/16	0.004	0.032	0.006	0.043	5.217
	10	42/16	0.004	0.027	0.007	0.054	5.909
	12	44/16	< п.о.	0.026	0.002	0.031	4.81
	14	46/16	0.005	0.041	0.006	0.114	3.672
	15	47/16	0.007	0.045	0.002	0.132	3.213
	15.5	48/16	0.004	0.037	0.002	0.138	2.856
	19	52/16	0.005	0.042	0.004	0.122	4.813
	20	53/16	0.002	0.031	0.001	0.011	5.146
	22	55/16	0.002	0.017	0.010	0.040	2.52
	24	58/16	0.005	0.028	0.013	0.235	4.517
	25	59/16	0.006	0.025	0.001	0.104	4.234
	26.5	61/16	0.007	0.063	0.010	1.324	7.254
	27	62/16	0.005	0.067	0.009	1.547	54.61
	28	64/16*	0.001	0.042	0.07	0,25	н.о.
	29	66/16	0.005	0.016	0.002	0.048	2.615
29.5	67/16	0.006	0.041	0.05	0.095	3.761	
30	68/16*	0.001	0.044	0.07	0,11	н.о.	
Среднее по скважине № 3			0.004	0.04	0.01	0.25	4.32
Стандартное отклонение			0.002	0.01	0.02	0.45	1.45

Примечание. Пробы проанализированы в ИМГРЭ методом ICP-MS на Elan 6100 DRC (2020 г.), кроме * – пробы, проанализированные в ЦКП «ИГЕМ-АНАЛИТИКА» методом ICP-MS (2018 г.); п.о. – предел обнаружения (в г/т): Au – 0.001; Ag – 0.01; Pt – 0.001; Pd – 0.001; Ru – 0.001; н.о. – не определялось

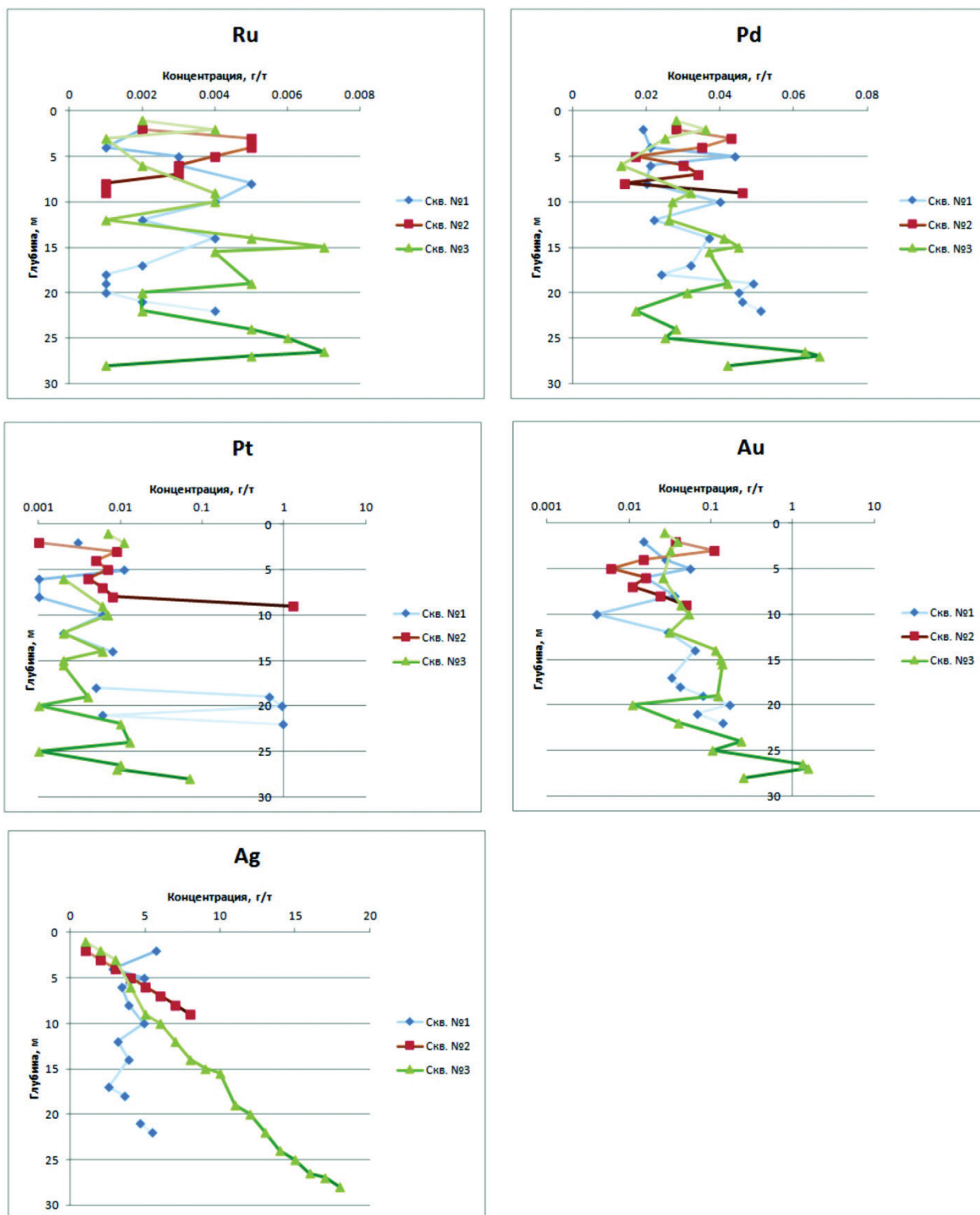


Рис. 2. Распределение содержаний благородных металлов (в г/т) по глубине в разрезах скважин, пройденных в Фиагдонском хвостохранилище

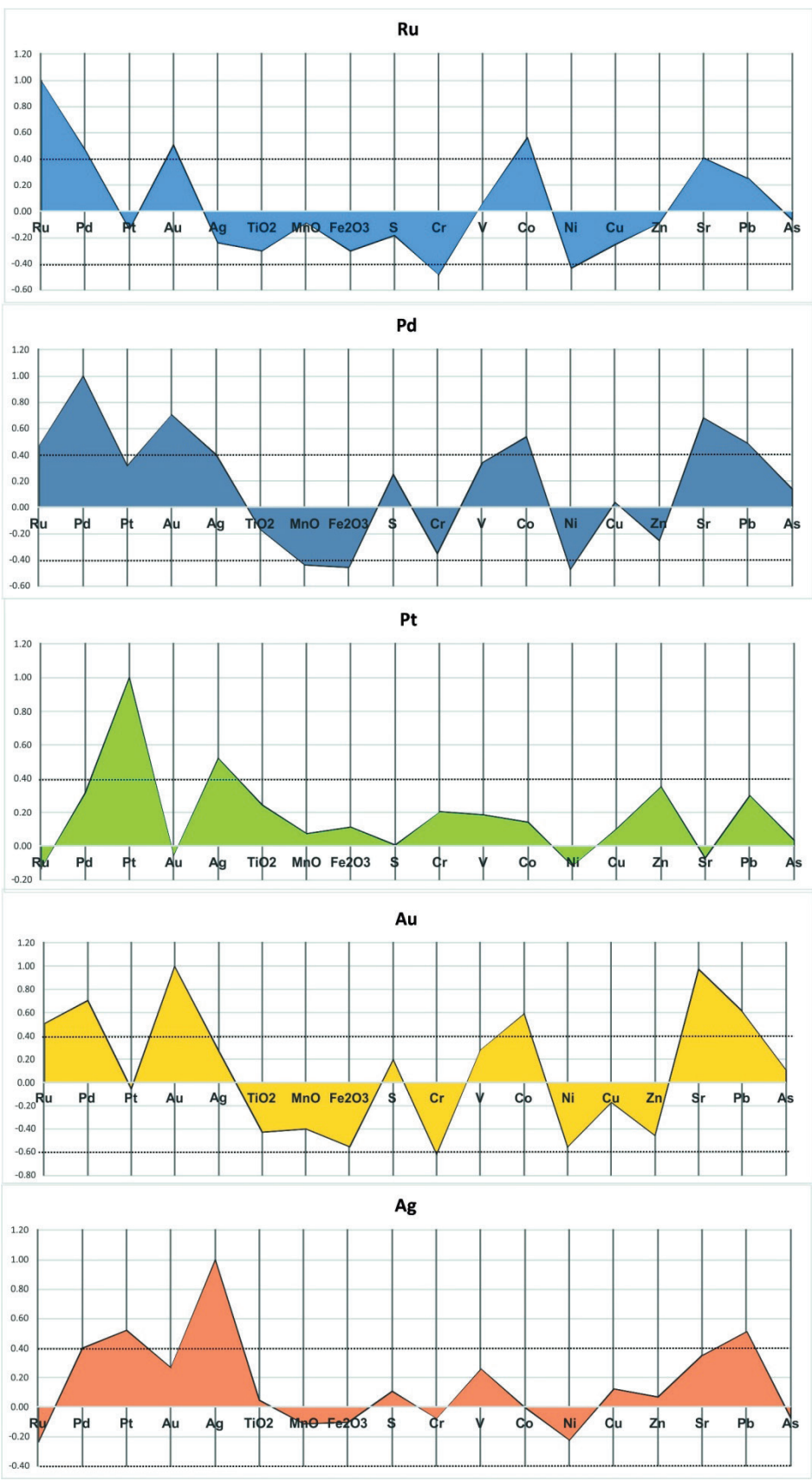


Рис. 3. Коэффициенты корреляции концентраций благородных металлов в разрезе Фиагдонского хвостохранилища

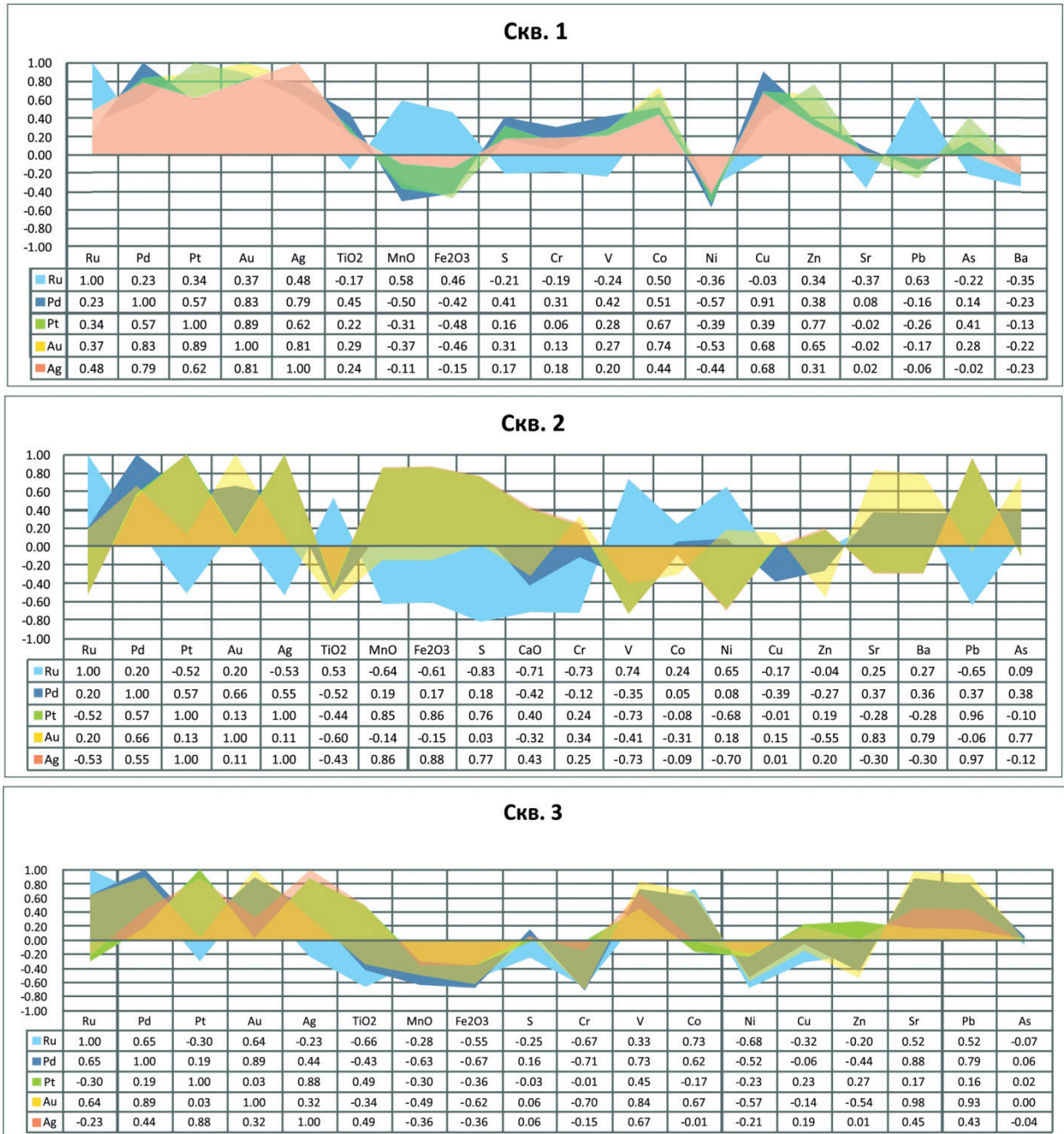


Рис. 4. Коэффициенты корреляции концентраций благородных металлов и петрогенных элементов в разрезах скважин, пройденных в Фиагдонском хвостохранилище

В скважине № 2 (восточное окончание ФХ) по всему проанализированному разрезу концентрация Pd значительно преобладает над концентрацией Pt, и только на глубине 9 м наблюдается противоположное соотношение концентраций Pd и Pt. В целом, в керне скважины вниз по разрезу наблюдается снижение концентрации Ru. Характер распределения концентраций Pd и Pt хаотический. Для Au выявлена слабо выраженная тенденция в его накоплении в нижней части разреза. Учитывая порядок отработки рудных тел месторождений, намыва хвостов в ФХ и основываясь на приведенных выше данных, можно предположить, что вниз по

падению рудных тел (то есть в процессе отработки месторождений Кадат и Какадур) концентрация Ru в них увеличивается, а Au слабо снижается.

В скважине № 1 (центральная часть ФХ) по всему проанализированному разрезу концентрация Pd значительно преобладает над концентрацией Pt, и только на глубинах 19 м, 20 м и 22 м наблюдается противоположное соотношение концентраций Pd и Pt. В целом, в керне вниз по разрезу наблюдается снижение концентрации Ru с незначительным увеличением его концентрации на глубине 22 м. Характер распределения концентраций Pd, Pt и Au неравномерный в верхней 2/3 части разреза, но с

Таблица 2
Коэффициенты корреляции химических элементов в разрезах скважин, пройденных в Фиагдонском хвостохранилище

Скважина № 2															
Элемент (оксид)	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ общ.	S общ.	CaO	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Pb	As
Ru	0,30	-0,49	-0,54	-0,80	-0,61	-0,52	0,53	0,24	0,60	-0,07	-0,03	0,22	0,25	-0,64	0,09
Pd	-0,39	0,19	0,17	0,14	-0,30	-0,14	-0,32	0,05	0,03	-0,23	-0,29	0,28	0,31	0,36	0,40
Pt	-0,14	0,51	0,64	0,77	0,30	0,13	-0,39	-0,08	-0,57	0,19	0,24	-0,12	-0,18	0,90	-0,13
Au	-0,12	-0,34	-0,28	0,12	-0,33	0,20	-0,05	-0,31	0,23	0,39	-0,36	0,85	0,82	-0,10	0,65
Ag	-0,15	0,84	0,93	0,12	0,72	0,35	-0,50	-0,44	-0,79	-0,33	0,05	-0,69	-0,63	0,85	-0,27
Скважина № 1															
Элемент (оксид)	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ общ.	S общ.	CaO	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Pb	As
Ru	0,19	-0,23	-0,15	-0,03	-0,01	0,15	0,25	0,32	0,65	0,00	-0,28	0,23	0,22	-0,26	0,08
Pd	0,52	-0,43	-0,40	0,19	0,72	0,11	0,40	-0,35	0,00	0,45	-0,38	0,06	-0,22	-0,29	-0,04
Pt	0,31	-0,24	-0,14	0,53	0,55	-0,05	0,21	-0,29	-0,23	0,55	0,13	-0,04	-0,29	-0,05	0,15
Au	0,35	-0,39	-0,32	0,55	-0,43	-0,09	0,31	-0,28	-0,24	0,50	0,04	-0,20	-0,51	-0,26	0,29
Ag	0,38	-0,42	-0,43	0,17	0,54	0,29	0,30	-0,25	0,11	0,25	-0,29	0,26	0,11	-0,42	-0,06
Скважина № 3															
Элемент (оксид)	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ общ.	S общ.	CaO	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Pb	As
Ru	-0,77	-0,39	-0,50	0,01		-0,46	0,26	0,15	-0,56	-0,04	-0,26	0,48		0,49	0,19
Pd	-0,48	-0,68	-0,65	0,28		-0,62	0,70	-0,37	-0,46	0,08	-0,47	0,87		0,78	0,18
Pt	0,47	-0,32	-0,35	0,02		0,03	0,44	-0,65	-0,20	0,28	0,26	0,16		0,15	0,08
Au	-0,34	-0,50	-0,62	0,06		-0,70	0,84	-0,59	-0,57	-0,14	-0,54	0,98		0,93	0,00
Ag	0,04	-0,39	-0,37	0,12		-0,39	0,77	0,10	-0,29	0,01	-0,48	0,76		0,73	0,01

Примечание. Жирным курсивом выделены значимые величины коэффициентов корреляции для элементов.

явно выраженной тенденцией к накоплению Pd, Pt и Au в низах разреза. Учитывая порядок отработки рудных тел месторождений и намыва хвостов в ФХ, а также приведенные выше данные, можно предположить, что вниз по падению рудных тел в процессе отработки месторождений Кадат и Какадур концентрация Ru в них увеличивается, а Ag – слабо снижается; концентрации Pd, Pt и Au в верхней 1/3 части разреза «рудных тел» максимальные, а в нижней части – неравномерные.

В скважине № 3 (западная часть ФХ) по всему проанализированному вертикальному разрезу концентрация Pd значительно преобладает над концентрацией Pt в каждой пробе, и только на глубинах 28 м и 30 м наблюдается противоположное соотношение концентраций Pd и Pt. В целом, в керне скважины вниз по разрезу наблюдается незакономерный характер распределения концентраций Ru, Pd и Pt со слабо выраженной тенденцией к их накоплению в низах разреза. Для Au и Ag выявлен, в целом, хаотический характер в распределении их концентраций в разрезе, однако максимальные концентрации Au установлены в интервалах глубин 13–15.5 м; 19 м; 24–27 м; 28–28.5 м и 30 м, а Ag – в интервалах 0–2 м; 9–13 м; 19–20 м и 24–27 м. Учитывая порядок намыва хвостов в ФХ и приведенные выше данные, можно предположить, что вниз по падению рудных тел в процессе отработки месторождений Кадат и Какадур концентрации Ru, Pd и Pt в них несколько снижаются.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Из графиков, иллюстрирующих распределение благородных металлов (БМ) в вертикальном разрезе ФХ, следует (рис. 2), что вниз по разрезам скважин, пробуренных на всю мощность ФХ, увеличиваются их концентрации. Это может быть связано с тем, что на начальном этапе обрабатывались верхние части рудных тел месторождений Какадур и Кадат, которые были изначально обогащены БМ.

2. За исключением скважины № 3, на всех графиках по ФХ (рис. 3–4), отражающих корреляционные связи Ru, его поведение – обратное по отношению к прочим элементам.

3. Латеральные (с востока на запад) особенности в распределении химических элементов для ФХ (содержания элементов взяты из [6, табл. 1–3]) и выявленные корреляционные связи БМ с рядом рудных элементов заключаются в следующем (рис. 3–4):

В скважине № 2 установлены положительные корреляционные связи: для Ru – с Ni (отрицательная – с Pb); для Pd – с Pt, Au и Ag; для Pt – с Pd, MnO, Fe, Pb и особенно с S и Ag; для Au – с Ba, Sr и особенно с Pd; для Ag – с Pd, MnO, Fe, S и особенно с Pt.

В скважине № 1 установлены положительные корреляционные связи: для Ru – с MnO и Pb; для Pd – с Au, Ag и Cu; для Pt – с Au, Ag, Zn и Co; для Au – с Pd, Pt, Ag и Cu; для Ag – с Pd, Pt, Au и Cu. Наиболее устойчивой корреляционной связью характеризуется

геохимическая ассоциация Au+Ag+(Pd+Pt), возможно, отражающая связь БМ с карбонатами меди в промышленных отходах ФХ.

В скважине № 3 установлены положительные корреляционные связи: для Ru – с Pd, Au, Co, Sr и Pb; для Pd – с Ru, Au, V, Co, Sr и Pb; для Pt – с Ag; для Au – с V, Co, Sr, Pb и особенно с Ru и Pd; для Ag – с Pt. Для промышленных отходов в этой скважине характерными являются геохимические ассоциации БМ, а именно Au+Ru+Pd и Pt+Ag.

4. В целом по ФХ, установлены значимые положительные корреляции: Ru – с Pd, Au, Co (и Sr); Pd – с Ru, Au, Co, Sr и Pb; Pt – с Ag; Au – с Pd, Ru, Co, Sr и Pb; Ag – с Pt и Pb.

5. Установленная положительная корреляция Pt, S, Ag и (Pb) может свидетельствовать о связи самородной платины с сереброносным галенитом и оксидами сульфидных минералов, а Au, Pd, (Ba) и (Sr) – с мусковит-кварц-серицитовыми метасоматитами в промышленных отходах ФХ; в отходах хвостохранилища в ассоциации с БМ также могут присутствовать карбонаты Cu и оксиды Ti и Fe.

Предлагается следующая геологическая интерпретация полученных данных.

1. Обращает на себя внимание то, что в пробах из керна скважин, характеризующих промышленные отходы на всю мощность ФХ, установлены повышенные содержания как «базовых» (Pb, Zn, Cu, Fe, Ti, Mn, Ag) для полиметаллических месторождений Кадат и Какадур, так и благородных (Au, Pt и ЭПГ) металлов. Исходя из того, что ФОФ перерабатывала руды только полиметаллических месторождений Кадат и Какадур, а в промышленных отходах, захороненных в ФХ, установлены повышенные концентрации не только полиметаллов [4, 6], но и БМ, то правомерно допустить, что эти месторождения характеризуются комплексным составом руд, включающих также и БМ.

2. Выявленное в большинстве из пока проанализированных 43 проб, характеризующих вертикальные разрезы на всю мощность ФХ, преобладание концентрации Pd над концентрацией Pt может быть типоморфной особенностью этого благороднометалльного с полиметаллами типа руд, локализованных в черносланцевых углеродсодержащих терригенных ранне-среднеюрских толщах. Установленное в единичных пробах (на разных глубинах) противоположное соотношение концентраций Pt и Pd может свидетельствовать о наличии в АЛРП двух различных источников платины и ЭПГ при формировании руд месторождений Кадат и Какадур.

3. Выявленная Г.П. Ольховским и др. [10] повышенная фоновая металлоносность рудовмещающей тоар-ааленской флишоидной углеродсодержащей толщи была уточнена и дополнена нами в части содержания БМ, полученных по данным исследования количественным методом ICP MS этого рудовмещающего вертикального разреза из 16 представительных проб (концентрации в г/т): Cr – 89, Ni – 48, Cu – 37, Zn – 132, Pb – 60, As – 53, Rb – 121, Zr – 179, Ag – 0.03, Au – 0.007, Ru – 0.001, Pd – 0.002, Pt – 0.001 и Fe₂O₃ = 7.3

мас. % [4, 5]. Повышенная фоновая металлоносность рудовмещающей тоар-ааленской флишиоидной углеродсодержащей толщи также подтверждается фактом наличия в ней сингенетических и диагенетических вкрапленных и послонных скоплений сульфидов Fe, Pb и Zn, что требует своего объяснения. В этой толще локализованы полиметаллические месторождения и перспективные золото-кварцевые и золото-кварц-сульфидные рудопроявления АЛРП [9, 11]. На дневной поверхности отсутствуют признаки проявления магматической активности: установлены только слабо окатанные обломки вулканитов основного и среднего составов в основании разреза рудовмещающей толщи. Похожая картина описана для Яно-Колымского золоторудного пояса (ЯКЗП) на северо-востоке России. Особенности платиноидной минерализации и сопутствующих минералов в рудах месторождений ЯКЗП позволили считать, что они связаны с процессами размыва магматических тел основного-ультраосновного составов и с накоплением продуктов их разрушения в формирующихся пермских отложениях. Крупных тел базитов и ультрабазитов в допермских и пермских отложениях не встречено, но отмечена тесная связь ЭПГ-минерализации с золотоносными эпигенетическими метасоматитами [3]. Сравнение этих месторождений с донными отложениями, образовавшимися в идентичных тектонических условиях современной гидротермальной активности Восточно-Чукотского моря, позволило полагать [2], что источником ЭПГ в осадочных пермских отложениях северо-восточной Азии были сейсмоактивные троговые зоны на дне пермского моря. Обогащенность никелем, хромом и кобальтом тектонических зон в разрезах пермских отложений позволила считать их каналами, подводящими флюиды с ЭПГ, Ni, Cr, Au в придонные слои пермского моря, с формированием осадков, первично обогащенных БМ. Тектонические зоны с повышенными концентрациями Ni, Cr, Cu, Zn, Pb, Ag и Au, развитые в пределах АЛРП [8] по аналогии с ЯКЗП, могут рассматриваться как флюидоподводящие каналы в придонные слои ранне-среднеюрского моря (Тетиса).

Северо-Кавказскими геологами допускается [9], что на формирование рассматриваемого в пределах АЛРП оруденения оказал влияние рифтогенный базитовый эффузивно-субинтрузивный комплекс, продуктивный на колчеданно-полиметаллические руды в расположенной южнее Приводораздельной металлогенической зоне. Пока еще однозначно не решены вопросы об источнике рудного вещества (Au, Pt, Pd) и о генезисе данного типа оруденения. Однако, на основании полученных нами [5] и литературных данных, мы полагаем, что основным механизмом формирования благороднометалльного с полиметаллами оруденения могла быть конвекция разогретых вадозных вод в черносланцевой (с повышенной металлоносностью) углеродсодержащей толще ранне-среднеюрского возраста. Механизмом ее «запуска» (при отсутствии на дневной поверхности проявлений магматизма) могли быть интенсивные подвижки по зонам активных разломов, разнознаковые перемещения по которым приводили, за счет трения, к нагреву черносланцевой

толщи с вадозными водами и с повышенной металлоносностью, выщелачиванием из них нагретыми водами благородных и базовых металлов [7] и с последующим их переносом и отложением во фронтальной части (зоне) возникшей гидротермально-метасоматической колонны. Это приводило в итоге к формированию рудных тел месторождений. Подобные тектонические перемещения на Большом Кавказе были связаны с предкелловейской фазой складчатости [12].

ВЫВОДЫ

1. Аномально высокие концентрации Ru, Pd, Pt, Au и Ag, установленные в вертикальном разрезе Фиагонского хвостохранилища, свидетельствуют о переработке на Фиагонской обогатительной фабрике комплексных руд месторождений Кадат и Какадур, содержащих кроме «базовых» (Pb, Zn, Cu, Fe, Ti, Mn, Ag) и благородные металлы. Следовательно, в рудных телах, расположенных в Афсандур-Ламардонском рудном поле, кроме известной золоторудной [9, 11], вероятно обнаружение и платиноидной минерализации. Поэтому наличие в промышленных отходах Фиагонской обогатительной фабрики повышенных концентраций благородных металлов является правомерным для рассмотрения их как индикатора возможного присутствия в Афсандур-Ламардонском рудном поле нового для Северного Кавказа благороднометалльного с полиметаллами оруденения черносланцевого типа. Вовлечение в поисково-разведочные работы этого стратегически важного минерального типа оруденения даст возможность расширить минерально-сырьевую базу Южного федерального округа России на благородные металлы.

2. В промышленных отходах Фиагонской обогатительной фабрики (а опосредованно и в рудах месторождений Какадур и Кадат) установлено, по видимому, наличие двух различных, по соотношению концентраций платиноидов, источников рудного вещества. Так, в большинстве проб концентрация Pd значительно преобладает над концентрацией Pt, но иногда концентрация Pt резко преобладает над концентрацией Pd, что может свидетельствовать о наличии двух различных источников платиноидов в рудах полиметаллических месторождений Кадат и Какадур.

3. Повышенная фоновая металлоносность толщ, рудовмещающей для месторождений Кадат, Какадур и золоторудных с полиметаллами рудопроявлений в Афсандур-Ламардонском рудном поле, может быть объяснена аналогией по генезису с месторождениями Яно-Колымского золоторудного пояса на северо-востоке России, наличием минерализованных тектонических зон с повышенными концентрациями Ni, Cr, Cu, Zn, Pb, Ag и Au. Развитые в Афсандур-Ламардонском рудном поле тектонические зоны [8] могут рассматриваться как каналы, подводящие флюиды с повышенными концентрациями Ni, Cr, Cu, Zn, Pb, Ag, Au, Pd, Pt, Ru в придонные слои раннеюрского моря (Тетиса). При отсутствии на дневной поверхности проявлений магматизма, основным механизмом формирования

благороднометалльно-полиметаллического оруденения могла быть конвекция: перемещения блоков пород по активным зонам разломов приводили, за счет трения, к нагреву черносланцевых толщ с повышенной металлоносностью и с вадозными водами,

что способствовало экстракции благородных и базовых металлов разогретыми вадозными водами, их перераспределению и отложению во фронтальной зоне возникшей гидротермально-метасоматической колонны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагин В.С., Голик В.И. Проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа // Учебник для вузов. – Владикавказ: Проект-Пресс, 2005. 192 с.
2. 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.
3. Горячев Н.А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. 143 с.
4. Гурбанов А.Г., Туаев О.П., Газеев В.М. и др. Полиметаллическое и золото-сульфидно-кварцевое с ЭПГ оруденение в тоар-ааленских углеродисто-терригенных флишоидных (черносланцевых) толщах Фиагдон-Терской металлогенической подзоны Самуро-Белореченской металлогенической зоны (Северный Кавказ) // Вестник Владикавказского научного центра РАН. 2020. Т. 20. № 3. С. 59–69.
5. Гурбанов А.Г., Докучаев А.Я., Газеев В.М. и др. Аномально высокие содержания благородных металлов в отходах Фиагдонской обогатительной фабрики: возможный новый для Северного Кавказа золото-платиноидный с полиметаллами тип оруденения, локализованный в ранне-среднеюрских черных сланцах // Геология и геофизика юга России. 2021. № 2. С. 6–21.
6. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Цуканова Л.Е., Илаев В.Э., Дзедобоев С.О., Оганесян А.Х. Вариации содержания макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах в промышленных отходах Фиагдонского хвостохранилища (Республика Северная Осетия-Алания) // Вестник ВНИЦ РАН. 2019. Т. 19. №1. С. 59–68.
7. Гурбанов А.Г., Кусраев А.Г., Лолаев А.Б., Дзедобоев С.О., В.М. Газеев В.М. и др. Геохимические особенности промышленных отходов Мизурской горно-обогатительной фабрики (Унальское хвостохранилище, республика Северная Осетия-Алания) как основа для оценки масштабов загрязнения ими почв прилегающих территорий // Геология и геофизика юга России. 2018. № 1. С. 34–47.
8. Гурбанов А.Г., Зембатов С.С. Субмеридиональные ослабленные зоны и их роль в локализации полиметаллического оруденения Северной Осетии // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1978. № 5. С. 106–120.
9. Давыдов К.В., Давыдова Е.И., Таратынко Е.С. и др. Поисковые работы на золото-серебряный и золото-сульфидный типы оруденения Горной Осетии (РСО-Алания) // Госконтракт №1/07 ОАО Севосгеологоразведка. 2009. место хранения: Москва. Росгеолфонд, центральное фондохранилище. Инв. № 494640.
10. Ольховский Г.П., Тибилев С.М. Специализированная геологическая карта масштаба 1 : 50 000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии // Отчет об ОМР. Эссентуки: Фонды СКРГЦ. 1998.
11. Туаев О.П. Отчет о результатах работ по объекту: «Поиски месторождений золото-кварц-сульфидных руд в пределах Какадурской рудной зоны Аfsандур-Ламардонского рудного поля» (Республика Северная Осетия-Алания). Москва. Фонд АО «Росгеология». 2019. 255 с.
12. Черныцын В.Б. Металлогения Большого Кавказа. – М.: Недра, 1977. 191 с.

REBERENCES

1. Vagin V.S., Golik V.I. Problemy ispol'zovaniya prirodnih resursov YUzhnogo federal'nogo okruga // Uchebnik dlya vuzov. Vladikavkaz: Proekt-Press, 2005. 192 s.
2. Goncharov V.I., Gamyaniin G.N., Sidorov V.A. i dr. Elementy platinovoj grupy v zolotorudnyh mestorozhdeniyah mezozojskih chemoslancevnyh tolshch Severo-Vostoka Rossii // Zoloto Sibiri i Dal'nego Vostoka: geologiya, geohimiya, ekonomika, ekologiya. Ulan-Ude: Izd-vo Buryatskogo nauchnogo centra SO RAN, 2004. S. 53–55.
3. Goryachev N.A. Proiskhozhdenie zoloto-kvarcevyh zhil'nyh pojasov Severnoj Pacifiki. Magadan: SVKNII DVO RAN, 2003. 143 s.
4. Gurbanov A.G., Tuayev O.P., Gazeev V.M. i dr. Polimetallicheskoe i zoloto-sul'fidno-kvarcevoe s EPG orudenie v toar-aalenskikh uglerodisto-terrigennykh fliushoidnykh (chemoslancevnykh) tolshchah Fiyagdon-Terskoj metallogenicheskoy podzony Samuro-Belorechenskoy metallogenicheskoy zony (Severnyj Kavkaz) // Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN. 2020. T. 20. № 3. S. 59-69.
5. Gurbanov A.G., Dokuchaev A.YA., Gazeev V.M. i dr. Anomal'no vysokie sodержaniya blagorodnykh metallov v othodah Fiyagdon'skoy obogatitel'noj fabriki: vozmozhnyj novyj dlya Severnogo Kavkaza zoloto-platinoidnyj s polimetallami tip orudneniya, lokalizovannyj v ranne-sredneyurskikh chernykh slancah // Geologiya i geofizika yuga Rossii. 2021. № 2. S. 6-21.
6. Gurbanov A.G., Laksin A.B., Gazeev V.M., Gurbanova O.A., Lolaev A.B., Cukanova L.E., Ilaev V.E., Dzeboev S.O., Oganesyana A.H. Variacii sodержanij makro- i mikroelementov v vertikal'nykh razrezakh v promyshlennykh othodah Fiyagdon'skogo hvostohranilishcha (respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) // Vestnik VNC RAN. 2019. T. 19. №1. S. 59-68.
7. Gurbanov A.G., Kusraev A.G., Lolaev A.B., Dzeboev S.O., V.M. Gazeev V.M. i dr. Geohimicheskie osobennosti promyshlennykh othodov Mizurskoj gorno-obogatitel'noj fabriki (Unal'skoe hvostohranilishche, respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) kak osnova dlya ocenki masshtabov zagryazneniya imi pochv priliegayushchih territorij // Geologiya i geofizika yuga Rossii. 2018. № 1. S. 34-47.
8. Gurbanov A.G., Zembatov S.S. Submeridional'nye oslablennyye zony i ih rol' v lokalizacii polimetallicheskogo orudneniya Severnoj Osetii // Izv. AN SSSR. Ser. Geol. 1978. №5. S. 106-120.
9. Davydov K.V., Davydova E.I., Taratynko E.S. i dr. Poiskovyje raboty na zoloto-serebryanyj i zoloto-sul'fidnyj tipy orudneniya Gornoj Osetii (RSO-Alaniya) // Goskontrakt №1/07 ОАО Севосгеологоразведка. 2009. mesto hraneniya: Moskva. Rosgeofond, central'noe fondohranilishche. Inv. №494640.
10. Ol'hovskij G.P., Tibilov S.M. Specializirovannaya geologicheskaya karta masshtaba 1:50000 dlya prognosno-metallogenicheskoy karty Gornoj Osetii // Otchet ob OMR. Essentuki: Fondy SKRGC. 1998.
11. Tuayev O.P. Otchet o rezul'tatah rabot po ob'ektu: «Poiski mestorozhdenij zoloto-kvarc-sul'fidnykh rud v predelakh Kakadurskoj rudnoj zony Afsandur-Lamardonskogo rudnogo polya» (Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya). Moskva. Fond AO «Rosgeologiya». 2019. 255 s.
12. Chernitsyn V.B. Metallogeniya Bol'shogo Kavkaza. M.: Nedra, 1977. 191 s.