

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

---

**6/2014**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор Б.К.Михайлов**

Зам. главного редактора А.И.Иванов  
Зам. главного редактора Н.И.Назарова

Б.И.Беневольский  
В.И.Ваганов  
С.С.Вартанян  
А.В.Волков  
Ю.К.Голубев  
В.С.Звездов  
П.А.Игнатов  
С.Г.Кряжев  
В.В.Кузнецов  
Д.А.Куликов  
Г.А.Машковцев  
И.Ф.Мигачев  
Г.В.Ручкин  
Г.В.Седельникова

УЧРЕДИТЕЛЬ

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ  
РОСНЕДРА МИНИСТЕРСТВА ПРИРОДНЫХ  
РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Издается при участии  
Международной академии минеральных ресурсов,  
Фонда им. академика В.И.Смирнова

**Москва ЦНИГРИ 2014**

**Руды и металлы**  
**№ 6 – 2014**

**ISSN 0869–5997**

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № 01919 от 21 декабря 1992 г.

Журнал по решению ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»

Редакция: *Н.И.Назарова, В.С.Жаркова, Г.В.Вавилова*  
Верстка и оригинал-макет: *Т.В.Лукина*

Сдано в набор 24.11.14 г.  
Подписано в печать 01.12.14 г.

Формат 30×42 1/2  
Бумага листовая  
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ФГУП «ЦНИГРИ»  
Телефон: 8 (495) 315-28-47  
Факс: 8 (495) 315-43-47  
E-mail: [rudandmet@yandex.ru](mailto:rudandmet@yandex.ru), [rudandmet@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru)

Сайт Научной Электронной Библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГУП «ЦНИГРИ»: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2014

**Прикладная металлогения****Applied metallogeny***Донец А.И.*

Рудно-формационная типизация месторождений свинца и цинка и прогнозно-поисковые модели рудных районов Алтае-Саяно-Енисейской минерогенической области

5

*Donets A.I.*

Type formative environments of Pb-Zn deposits and prognostic exploration models of ore districts in the Altay-Sayan-Yenisei mineragenic area

*Бердников Н.В., Пугачевский М.А., Комарова В.С.*

Платина в углеродистых сланцах: морфология, состав и вопросы генезиса

18

*Berdnikov N.V., Pugachevsky M.A., Komarova V.S.*

Platinum in carbonaceous schists: morphology, composition and genesis

*Филиппов В.А., Чернов А.Л.*

Перспективы промышленной золотоносности западного склона Южного Урала

26

*Philippov V.A., Chernov A.L.*

West slope of the South Urals: gold prospectivity of black shale formations

*Савельев Д.Е., Белогуб Е.В., Зайков В.В., Сначев В.И., Котлярков В.А., Блинов И.А.*

Платинометальная минерализация в ультрамафитах массива Средний Крака, Южный Урал

33

*Saveliev D.E., Belogub E.V., Zaykov V.V., Snachev V.I., Kotlyarov V.A., Blinov I.A.*

PGE mineralization in the ultramafic rocks of Sredny-Kraka massif, South Urals

**Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений****Exploration: techniques and methods***Гамов М.И., Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Труфанов А.В.*

Теоретическое и экспериментальное моделирование процессов деструкции металлоносных систем «уголь-порода-флюид» в термобарогradientных условиях

43

*Gamov M.I., Trufanov V.N., Rybin I.V., Trufanov A.V.*

Destruction of «coal-rock-fluid» metal-bearing systems under high *PT* gradients: theoretical and experimental modeling

**Строение рудных месторождений****Anatomy of ore deposits***Белоножко Е.А.*

Геологическое строение и золоторудная минерализация Кедровского участка Федоровско-Кедровского рудного поля в Ортон-Балыксинском рудном районе, Республика Хакасия

52

*Belonozhko E.A.*

Geology and gold mineralization of Kedrovskiy property, Fedorovskiy-Kedrovskiy ore field, Orton-Balyksinskiy ore district, Republic of Khakassia, Russia

*Миляев С.А.*

Геохимическая зональность Береговского золото-полиметаллического месторождения

58

*Milyaev S.A.*

Geochemical zoning of Berehove gold-polymetallic deposit

**Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ****Mining and exploration techniques and technologies***Бахарев С.А.*

Результаты промышленных испытаний установки комплексного акустического воздействия на сапонитсодержащую водную систему алмазодобывающего предприятия

*Bakharev S.A.*

The acoustic saponite-bearing recycling water treatment at the crushing mill of a diamond mine: results of industrial tests

63

**Дискуссии****Discussions***Силин И.И.*

Геостатистическая оценка прогнозных ресурсов по геохимическим данным

*Silin I.I.*

Geostatistical estimation of prognostic resources using geochemical survey data

69

**Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2014 году**

76

**«Rudy i Metally» list of publications 2014**

**Порядок оформления статей, представляемых в журнал «Руды и металлы»**

79

**Guidelines for Authors**



## РУДНО-ФОРМАЦИОННАЯ ТИПИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА И ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ РУДНЫХ РАЙОНОВ АЛТАЕ-САЯНО-ЕНИСЕЙСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ

А.И.Донец (ФГУП «ЦНИГРИ»)

*Рассмотрены рудно-формационные типы свинцово-цинковых месторождений — рудноалтайский, филизчайский, миргалимсайский, приаргунский и садонский. Охарактеризованы прогнозно-поисковые модели Змеиногорского, Холоднинского, Миргалимсайского, Приаргунского и Садонского рудных районов с элементами формационных, структурных, литофациальных, метасоматических, минералогических, геохимических и геофизических признаков. По деформированности рудовмещающих толщ и залегающих внутри них руд в филизчайском типе выделены три группы прогнозируемых рудных районов.*

*Ключевые слова: свинцово-цинковые месторождения, рудно-формационные типы месторождений, состав руд, рудовмещающие формации, прогноз рудных районов.*

*Донец Александр Иванович, metallogeny@tsnigri.ru*

## TYPE FORMATIVE ENVIRONMENTS OF Pb-Zn DEPOSITS AND PROGNOSTIC EXPLORATION MODELS OF ORE DISTRICTS IN THE ALTAI-SAYAN-YENISEI MINERAGENIC AREA

A.I. Donets

*Key type formative environments of Pb-Zn deposits are considered, i.e., Rydny Altay, Filizchai, Mirgalimsai, Priargun and Sadon. The prognostic exploration models of Zmeinogorsk, Kholodninsk, Mirgalimsai, Priargun and Sadon ore districts are characterized by descriptions of their depositional environments, tectonic settings, mineralogy, geochemical and geophysical signatures. Three groups of predicted ore districts are delineated in Filizchai type by the deformation grade of the ore-hosting units and ores.*

*Key words: Pb-Zn deposit, type formative environment, ore district prediction.*

Рудно-формационная типизация месторождений свинца и цинка Алтае-Саяно-Енисейской минерагенической области (АСЕМО) — необходимый элемент прогноза промышленных объектов данной территории [2]. В практике геологоразведочных работ прогноз осуществляется, как правило, на основе анализа рудоконтролирующих критериев и поисковых признаков. Важнейший критерий — характеристика геологической среды, дающая представление о типах геологического разреза вмещающих пород (геологической формации), структуры и истории геологического развития территории. В ряде геологических провинций указанные характеристики достаточно определены для каждой группы месторождений, относимых к той или иной рудной формации, представители которой имеют практическое значение (образуют геолого-промышленный тип). Это позволяет осуществлять прогнозирование месторождений и оценку территории [11]. Рудно-формационная типизация месторождений свинца и цинка АСЕМО и усредненные характеристики представителей рудных формаций,

заимствованные из методического руководства [4], приведены в табл. 1.

При прогнозных исследованиях рудный район выделяется в качестве территории (протяженностью до 100 км, площадью в среднем 500 км<sup>2</sup>), сложенной определенной геологической формацией, перспективной на открытие месторождений конкретного рудно-формационного типа [7].

*Медно-свинцово-цинковый колчеданный с барием и барий-свинцово-цинковый рудно-формационные типы (рудноалтайский).* В качестве модели рудного района рудноалтайского типа рассматривается Змеиногорский (рис. 1). В металлогенических зонах рудноалтайского типа рудные районы эквивалентны структурно-формационным блокам, которые представляют собой крупные вулканотектонические депрессии, выполненные отложениями одной рудоносной формации (табл. 2). Среди них выделяются краевые и внутренние депрессии (см. рис. 1). Краевые подразделяются на два подтипа. Первый представлен узкими троговыми депрессиями, приуроченными к глубинным разломам, со зна-

1. Типизация свинцово-цинковых месторождений

1	2	3	4	5	6
Характеристика месторождений	Медно-свинцово-цинковый колчеданный с барий-свинцово-цинковый колчеданный (рудноалтайский)	Медно-свинцово-цинковый колчеданный в углеродисто-терригенных породах (филиппинский)	Стратиформный свинцово-цинковый и барий-свинцово-цинковый в карбонатных породах (миргалимсайский)	Свинцово-цинковый в карбонатных породах часто со скарнами (приаргунский)	Свинцово-цинковый се-ребросодержащий жильный в разнообразных породах (садонский)
Рудовмещающая геологическая формация	Туфогенно-кремнисто-терригенная в сочетании с контрастной базальто-риолитовой	Углеродистая терригенно-филиппинская	Карбонатная известково-доломитовая, глинисто-карбонатная (в том числе рифогенная и биогерманная)	Карбонатная, часто в сочетании с гранитоидными формациями вулканолутолических поясов	Сочетание различных формаций, преимущественно эффузивной серии кислого и среднего составов
Основные промышленные типы руд	Медно-свинцово-цинковый колчеданный, цинково-свинцово-колчеданный, барит-свинцово-цинковый колчеданный	Свинцово-цинковый колчеданный, медно-свинцово-цинковый колчеданный, медно-цинковый колчеданный	Свинцово-цинковый, цинково-свинцовый, ба-рий-свинцово-цинковый, медно-свинцово-цинковый, флюорит-свинцово-цинковый	Свинцово-цинковый, цинково-свинцовый и серебро-свинцово-цинковый	Свинцово-цинковый и серебро-цинково-свинцовый
Основные минеральные типы руд	Галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовый, халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый, (пирит)-барит-галенит-сфалеритовый, галенит-сфалерит-пиритовый	Галенит-сфалерит-пиритовый, халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый, халькопирит-сфалеритовый, пирротин-пиритовый	Сфалерит-галенитовый, сфалерит-галенит-флюоритовый, галенит-сфалеритовый, сфалерит-галенит-баритовый, германий-галенит-сфалеритовый, тетраэдрит-халькопирит-галенит-сфалеритовый, пирит-барит-галенит-сфалеритовый, пирит-галенит-сфалеритовый	Галенит-сфалеритовый, галенит-сфалерит-пирротиновый, пирротин-пирит-галенит-сфалеритовый, тетраэдрит-сфалерит-галенитовый	Пирротин-пирит-галенит-сфалеритовый, тетраэдрит-сфалерит-галенитовый
Текстуры руд	Сплошная и густовкрапленая	Сплошная и прожилково-вкрапленая	Сплошная, вкрапленная, густовкрапленая и прожилково-вкрапленная	Вкрапленная, густовкрапленая и прожилково-вкрапленная	Вкрапленная, густовкрапленая и прожилково-вкрапленная
Средние содержания металлов в рудах, %	Pb 0,5-7,5 Zn 1,5-1,9 Cu 0,1-2,0	Pb 0,5-2,5 Zn 3,5-7,5 Cu 0,1-2,0	Pb 0,6-4,0 Zn 0,9-7,0 Cu 0,5-0,9	Pb 1,1-6,1 Zn 1,7-6,3	Pb 1,2-2,8 Zn 1,9-7,3

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
Соотношения основных металлов руд	Pb:Zn:Cu=1:3:1	Pb:Zn:Cu=1:3:0,3	Pb:Zn:Cu=(1:0,3:0,1)–(0,1:10:0,1)	Pb:Zn:Cu=1:1:0,2	Pb:Zn:Cu=1:2:0,1
Попутные полезные компоненты руд — основные и второстепенные (в скобках)	Au, Ag, As, Sb, Zn, Cd, Ne, (Ta, Ga, Tl, Ge)	Ag, Cd, Tl, In, Co, Sb, (Au, Se)	CaF <sub>2</sub> , Cu, Ba, Ag, Ge, Cd, Sb, Ga, (Ni, Co, In, Tl)	Ag, Cd, In, Bi, Au, (Cu, Sn)	Ag, Ga, Tl, In, Cu, (Sb, As)
Морфология и размеры рудных тел (м) по: А — простиранию, Б — падению, В — мощности	Линзо- и пластообразные залежи в сочетании с подводящими жильными системами: А — до 1500, Б — до 900, В — 1–100	Линзо- и пластообразные залежи: А — до первых тысяч, Б — до 1000, В — 1–250	Пласто- и линзообразные, реже мантообразные и жиллоподобные залежи: А — до 1000, Б — до 900, В — 1–50	Изометричные тела сложной и линзовидной формы, реже трубно- и жиллообразные: А — 200–800, Б — 100–600, В — 0,5–70	Жилы, жильные и штокерковые зоны уплощенной линзовидной формы: А — 20–800, Б — 50–500, В — 0,5–10
Примеры месторождений	Рубцовское, Золотушинское, Корбалихинское	Верхнекаменское, Горевское, Тенетинское	Ширгайтинское, Сары-Гиматейское	Юлия Свиночная, Уйское	Игр-Гол, Пертойское

чительной ролью осадочных пород в составе рудоносных формаций. Породы залегают почти вертикально, смяты в сложные складки, интенсивно деформированы с развитием многочисленных субпластовых срывов, надвигов, зон рассланцевания. Краевые структуры второго подтипа более протяженные. Рудоносная формация залегают непосредственно на породах комплекса основания. Первичные палеоструктуры, особенно крупные вулканические сооружения, хорошо сохранились и уверенно распознаются. Внутренние депрессии, развивавшиеся на поднятиях в связи с разломами широтного простирания, слабо деформированы и характеризуются сокращенным объемом рудоносной формации при преобладании вулканитов кислого состава [6].

Факторы, значимые для выявления рудных районов, представлены в табл. 2.

Методы, применяемые при геологоразведочных работах, направленных на выявление потенциальных рудных районов, включают [3]:

составление специализированных формационно-структурных карт м-ба 1:200 000 с использованием результатов геологоразведочных работ более крупных масштабов;

специализированное опробование потенциально рудовмещающей формации;

установление литофаций рудоносных вулканогенно-осадочных формаций;

металлогенический анализ с разбраковкой медно-свинцово-цинковой минерализации по формационной принадлежности.

*Медно-свинцово-цинковый колчеданный в углеродисто-терригенных породах рудно-формационный тип (филизчайский).* В качестве примера модели рассматриваемого типа приводится Холодинский рудный район (рис. 2).

Рудные районы данного типа эквивалентны структурно-формационным блокам, выполненным породами рудоносной формации [9]. Блоки представлены палеодепрессиями, состоящими из локальных впадин (одной и более), как правило, приуроченных к наиболее прогнутой части бассейна осадконакопления, приподнятым поперечным или диагональным блокам с повышенной мощностью рудовмещающей формации, возникающим на месте наиболее погруженных частей бассейна. Для рудовмещающей черносланцевой формации по разрезу и латерали характерна литолого-фациальная изменчивость, выраженная обычно различными объемами карбонатной, псаммитовой и углеродистой составляющих флишоидной углеродсодержащей терригенной толщи [5].

Площади рудных районов размером 100–500 км<sup>2</sup> определяются ареалами развития пород

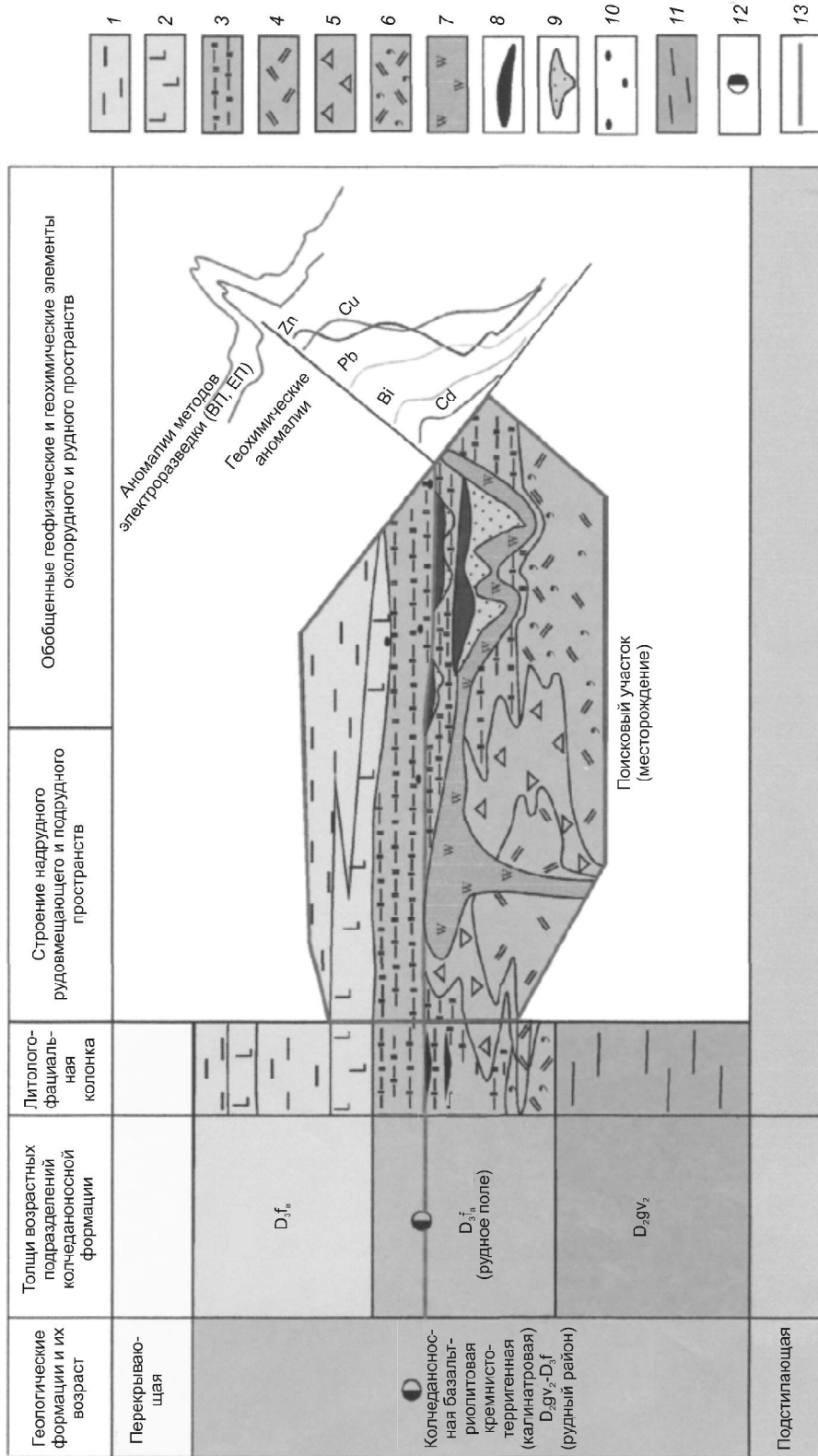


Рис. 1. Прогнозно-геологическая модель медно-свинцово-цинкового колчеданного месторождения рудноалтайского типа, Зменногорский рудный район:

*надрудные толщи:* 1 — алевролиты и углистые алевролиты, 2 — лавы и лавобрекчии базальтов и андезитово-базальтов; *образования окислрудного и рудного пространств:* 3 — кремнистые алевролиты, кремнистые туффиты, туффы кислого состава, фаниты, 4 — риолиты (калинатровые), 5 — лавы и лавобрекчии риолитов, 6 — туффы кислого состава, 7 — метасоматические образования хлорит-серицит-кварцевого состава, 8 — колчеданно-полиметаллические (медно-свинцово-цинковые) руды массивной структуры, 9 — медно-серно-колчеданные прожилково-вкрапленные руды, 10 — рудокласты; 11 — *подрудная толща* — нерасчлененная известково-кремнисто-терригенная базальтодерживающая формация (калиевая), продуктивная на свинцово-цинково-колчеданное месторождение; 12 — месторождения медно-свинцово-цинково-колчеданной формации; 13 — уровни рудофокализации с медно-свинцово-цинково-колчеданным оруденением



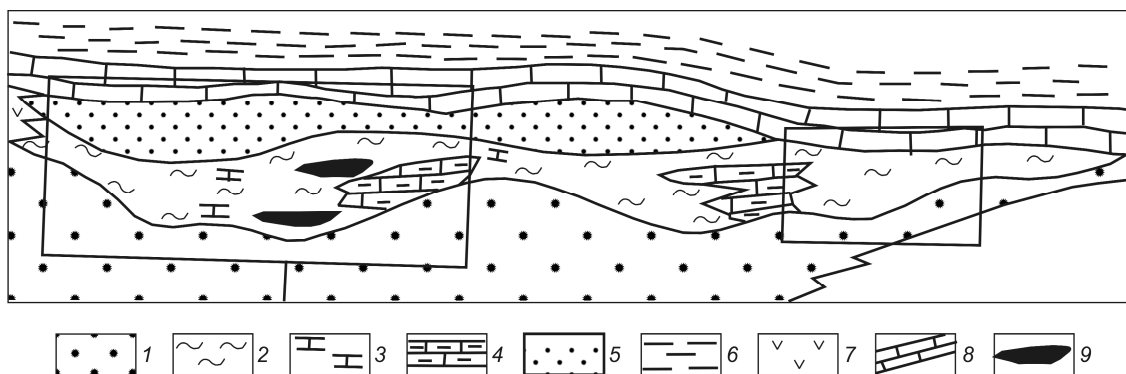
**2. Прогнозно-поисковая модель рудного района рудноалтайского типа (на примере Змеиногорского района Рудного Алтая)**

Элементы моделей	Признаки рудного района	
	Рудная формация	
	Медно-свинцово-цинковая колчеданная с барием	Барий-свинцово-цинковая колчеданная
1. Формационные		
1.1. Рудоносная геологическая формация	Известково-кремнисто-терригенная базальтсодержащая риолитовая (калиевая $K_2O/Na_2O \sim 2$ )	Кремнисто-терригенная базальт-риолитовая (калинатровая $K_2O/Na_2O < 2$ )
1.2. Перекрывающая формация	Кремнисто-терригенная базальт-риолитовая (калинатровая)	Флишоидная (песчаниково-алевролитовая)
1.3. Подстилающая формация	Терригенно-карбонатная	Известково-кремнисто-терригенная базальтсодержащая риолитовая (калиевая)
2. Структурные	Вулканотектоническая депрессия, выполненная отложениями известково-кремнисто-терригенной базальтсодержащей риолитовой формации	Вулканотектоническая депрессия, выполненная отложениями кремнисто-терригенной базальт-риолитовой формации
3. Литофациальные	Толща переслаивания ритмично-слоистых туфов кислого состава, тефроидов, кремнисто-углистых и известковистых алевролитов удаленной и промежуточной зон; лав, лавобрекчий риолитов и их туфов, часто игнимбритоподобных (преобладают осадочные породы)	Толща переслаивания туфов, тефроидов, кремнистых алевролитов промежуточной и удаленной зон; лав, лавобрекчий риолитов, их туфов; характерно присутствие потоков базальтового состава (преобладают вулканогенные породы)
4. Метасоматические	Зоны кварц-серицитовых и кварц-серицит-хлоритовых метасоматитов (с пиритом)	
5. Минералогические	Месторождения, рудопоявления и точки минерализации галенит-сфалерит-пиритового состава	Месторождения, рудопоявления и точки минерализации халькопирит-галенит-сфалерит-пиритового состава
6. Геохимические	Ареалы развития комплексных геохимических аномалий	
7. Геофизические	Гравитационный минимум, осложненный локальными аномалиями повышенных значений $\Delta g$	
8. Эталонные месторождения	Змеиногорское, Зареченское, Среднее, Семеновское	Корбалихинское, Лазурское, Маслянское

рудноносной формации, распространение которых ограничивается краевыми частями палеодепрессий. В современном структурном плане ряда структурно-формационных (металлогенических) зон (Ангаро-Большепитская, Олокито-Делюн-Уранская и др.) рудовмещающие черносланцевые формации часто имеют крутонаклонное до субвертикального залегание, что из-за варьирующей мощности (от первых десятков до 1000 м) и различных эрозийных срезов при проведении среднемасштабных геологоразведочных работ затрудняет опознание формаций как потенциально продуктивные.

В табл. 3 приведены основные элементы геолого-поисковых моделей, учет которых необходим при выделении и оконтуривании рассматриваемых рудных районов. Перечисленные элементы моделей устанавливаются с помощью металлогенического,

структурного, фациально-формационного и палеотектонического анализов площадей металлогенических зон с продуктивными формациями, выполняемых на базе геологических карт м-ба 1:200 000, с привлечением материалов более крупномасштабных геологоразведочных, а также геофизических и геохимических работ. В итоге составляются базовые графические материалы, включающие структурно-формационную и прогнозную карты м-ба 1:200 000. Контур рудного района на прогнозной карте проводится по границе распространения пород продуктивной формации, в том числе и не выходящих на поверхность. При их выделении и оценке необходим учет степени деформированности рудовмещающих толщ и залегающих внутри них руд. По данному признаку прогнозируемые рудные районы разделяются на три группы:



**Рис. 2. Схема выделения рудных районов, перспективных на медно-свинцово-цинковые колчеданные руды в углеродисто-терригенных формациях (филизчайский тип):**

*формации:* 1 — вулканогенно-терригенная, 2 — рудоносная углеродистая терригенно-флишоидная (черносланцевая); 3 — карбонатсодержащие углеродистые метапелиты; 4 — углеродсодержащие слюдяно-карбонатные породы; 5 — метатерригенные кварциты; 6 — графит-кварц-сланцы; 7 — андезитобазальты; 8 — горизонты мраморизованных карбонатных пород; 9 — рудные залежи

с пологим залеганием пород и руд при хорошей сохранности первичных палеоструктур без существенных послерудных деформаций;

с интенсивными деформациями, но с относительно хорошей сохранностью первичных текстур пород и руд, а также палеоструктур, претерпевших изменение лишь пространственной ориентировки;

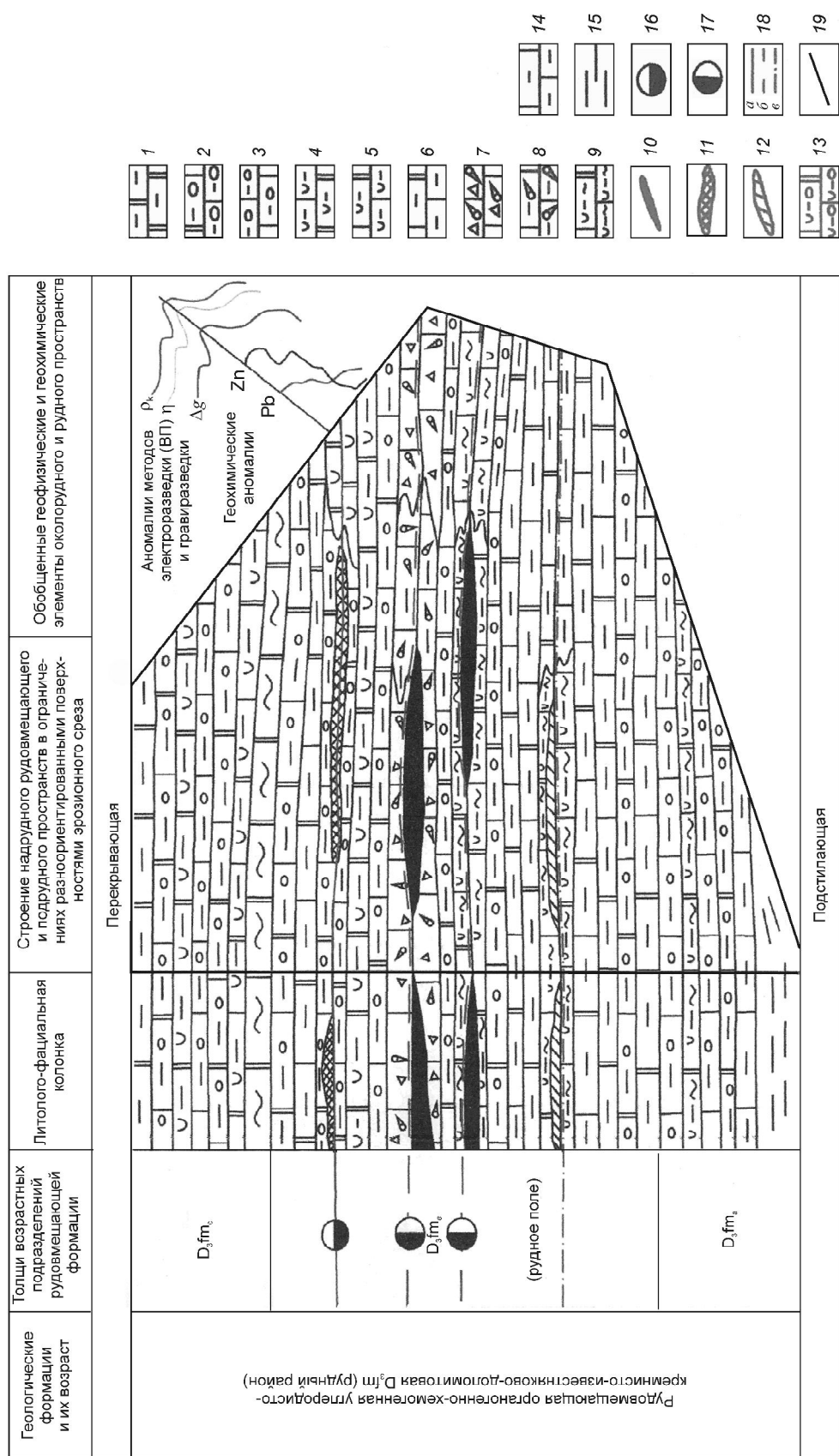
с интенсивными дислокациями и рассланцеванием пород, крутонаклонным (до опрокинутого)

залеганием рудовмещающих толщ и существенным искажением первичных палеоструктур.

В рудных районах второй и третьей групп поверхности эрозионного среза рудовмещающих толщ представляют случайные наклонные или субвертикальные сечения относительно первичного субгоризонтального залегания формации, вследствие чего информация для оценки потенциала рудоносности таких площадей может быть недостаточной.

### 3. Прогнозно-поисковая модель рудного района медно-свинцово-цинковой колчеданной в углеродисто-терригенных породах рудной формации (филизчайский тип)

Элементы модели	Признаки рудного района
1. Формационные	
1.1. Рудоконтролирующая формация	Углеродистая терригенно-флишоидная
1.2. Перекрывающая формация	Кластогенно-пелито-кремнистая
1.3. Подстилающая формация	Песчано-глинистая
2. Структурные	Бортовые или центральные части рифтогенных прогибов, контролируемых зонами конседиментационных разломов и сопряженных с ними разрывных нарушений, определяющих закономерности размещения и морфологию серии локальных впадин
3. Палеотектонические	Палеодепрессии с застойным режимом водообмена и повышенной мощностью углеродисто-терригенно-флишоидной формации
4. Геохимические	Геохимические аномалии Pb, Zn, Cu и других элементов
5. Минералогические	Наличие стратиграфо-литологических уровней с сингенетичной сульфидной минерализацией. Рудопроявления и точки минерализации пиритового, халькопиритового, галенит-сфалерит-пиритового составов; рудокласты и галька колчеданных руд; зоны баритизации и оксидных руд
6. Геофизические	Электроразведочные аномалии, гравитационные максимумы, локальные участки пониженных значений магнитного поля
7. Геохимические типы и составы руд	Медно-свинцово-цинковые колчеданные с барием. Рудные минералы: главные — барит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит; второстепенные — борнит, гематит, арсенопирит, блеклые руды и др.
8. Примеры месторождений	Филизчайское (Азербайджан), Холоднинское (Россия), Текели (Казахстан)



**Рис. 3. Поискные модели рудных районов, полей и месторождений миграллимсайского типа:**

*надрудные толщи:* 1 — доломиты, 2 — известняки доломитистые комковатые, 3 — известняки доломитистые комковатые, 4 — известняки кремнистые, 5 — известняки доломитистые кремнистые; *породы окколрудного и рудного пространства:* 6 — известняки доломитистые битуминозные слоистые, 7 — известняковые брекчи рифогенные, 8 — известняки рифогенные битуминозные, 9 — углеродисто-глинисто-кремнисто-карбонатные тонкослоистые породы; *рудные залежи:* 10 — свинцово-цинковые, 11 — барит-цинково-свинцовые, 12 — цинково-пиритовые; *подрудные толщи:* 13 — известняки доломитистые, кремнисто-битуминозные комковатые, 14 — известняки битуминозные слоистые, 15 — аргиллиты; *месторождения:* 16 — барит-цинково-свинцовой формации, 17 — свинцово-цинковые, 18 — свинцово-цинковые, 19 — линии поверхности вариантов эрозийных срезов цинково-свинцовых, 6 — свинцово-цинковых, 6 — цинково-пиритовых); 19 — линии поверхности вариантов эрозийных срезов

#### 4. Прогнозно-поисковая модель рудного района стратиформной свинцово-цинковой и барий-свинцово-цинковой в карбонатных породах рудной формации (миргалимсайский тип)

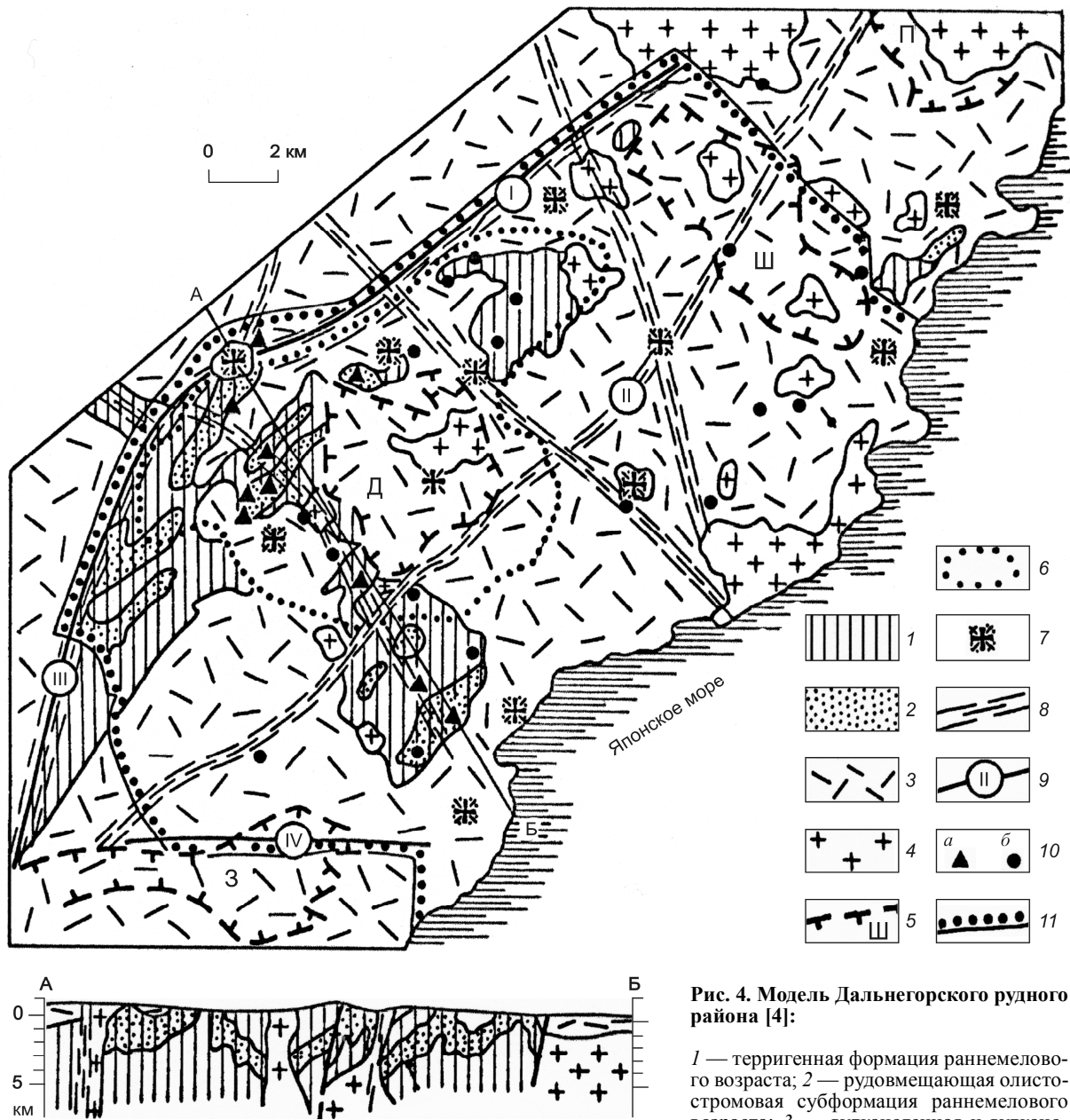
Элементы модели	Признаки рудного района
1. Геотектоническая позиция	Структурно-формационные блоки, представленные депрессиями, выполненными рудоносными формациями, отличающимися палеофациальными обстановками становления от прилегающих частей металлогенической зоны
2. Формационные	
2.1. Рудоносная геологическая формация	Мергельно-известняково-доломитовая, рифогенная, известняковая и известняково-доломитовая, терригенно-карбонатная
2.2. Перекрывающая формация	Мергельно-песчано-алевролитовая
2.3. Подстилающая формация	Прибрежно-морская песчано-алевролитовая
3. Структурные	Краевые части и склоны куполообразных поднятий и антиклиналей. Региональные разломы, определяющие размещение (в узлах пересечений) и конфигурацию рудных районов. Рифовые пояса, которые размещаются вдоль разломов
4. Литофациальные	Конседиментационные впадины с ограниченным водообменом (прибрежно-морская, лагунно-морская и зарифовая фациальные обстановки)
5. Минералогические	Месторождения, рудопроявления и точки минерализации со стратиформным свинцово-цинковым оруденением; наличие стратоуровней с сингенетичной сульфидной минерализацией
6. Геохимические	Геохимические ореолы Pb, Zn, Ba, Ag
7. Геофизические	Сопряженные геофизические аномалии, отражающие блоковое строение территории, палеодепрессии, барьерные рифы в сейсмическом и гравитационном полях
8. Эталонные месторождения	Миргалимсай (Казахстан), Сардана (Россия), Три-Стейтс (США)

*Стратиформный свинцово-цинковый и барий-свинцово-цинковый в карбонатных породах рудно-формационный тип (миргалимсайский).* Рудный район этого рудно-формационного типа эквивалентен структурно-формационному блоку, выполненному рудоносной (рудовмещающей) формацией (рис. 3). Обычно блоки представлены депрессиями, отличающимися от прилегающих частей металлогенической зоны палеофациальными обстановками становления рудоносной (рудовмещающей) и сопряженных с ней осадочных формаций, и ограничены поперечными разломами, пересекающими структурно-формационную зону [8].

В размещении рудных районов наблюдается связь с куполообразными поднятиями и антиклиналями. К склонам таких структур, часто ограниченных разломами, приурочены рудные районы многих провинций. Так, три рудных района Мидконтинента США локализованы в субмеридиональной зоне поднятия Висконсин-Озарк, рудный район Верхнемиссисипской долины расположен в области свода Висконсин, районы Юго-Восточного Миссури и Три-Стейтс находятся на склонах сводовой структуры [12]. В пределах Майско-Кыллахской зоны Сарданский рудный район тяготеет к склону Бас-Дьюкатского поднятия, рудные районы Каратауской зоны — к блокам разбитого разломами

антиклинория, а Учкулач-Гузанской — к участкам склона Курамино-Ферганского срединного массива, разделенным субмеридиональными разломами антитяньшанского типа.

Часто рудные районы контролируются региональными разломами, которые определяют их расположение, а нередко и конфигурацию. Так, рудный район Юго-Восточного Миссури контролируется разломами северо-западного простирания, с которыми сопряжена серия северо-восточных разрывов. В их пределах размещается полоса рудной минерализации, ориентированная поперечно по отношению к рудоносной площади в целом. Рудные районы Учкулач-Гузанской зоны находятся вблизи узлов, образованных пересечениями субширотных и субмеридиональных разломов антитяньшанского типа. В Каратауской зоне Ачисайский и Баджансайский рудные районы тяготеют к главному Каратаускому разлому и сопряженным с ним разрывам, вдоль которых нередко размещаются рифовые пояса, контролируемые оруденение в породах карбонатной рифогенной формации. В частности, пояса барьерных рифов большой протяженности контролируют положение месторождений и рудопроявлений Прибайкальского пояса. К барьерным рифам, локализующимся вдоль региональных разломов, приурочены район Пайн-Пойнт в Канаде, руд-



**Рис. 4. Модель Дальнегорского рудного района [4]:**

1 — терригенная формация раннемелового возраста; 2 — рудовещающая олистостромовая субформация раннемелового возраста; 3 — вулканогенная и вулканогенно-осадочная формация поздне-

мелового-палеогенового возраста; 4 — позднемеловые интрузии гранитного, гранодиоритового и диоритового составов; 5 — полигенные вулканоплутонические депрессии (П — Пластунская, Ш — Шептунская, Д — Дальнегорская, З — Зеркальнинская); 6 — проекции Дальнегорской глубинной интрузивно-купольной структуры; 7 — палеовулканические структуры (палеовулканы, кальдеры периферические, экструзивно-купольные поднятия); 8 — зоны консидиментационных швов (глубинные разломы); 9 — разломы (I — Черемуховый, II — Второй Прибрежный, III — Нежданковский, IV — Зеркальнинский); 10 — месторождения и рудопроявления: (а — скарнового, б — жильного и прожилково-вкрапленного типов); 11 — граница Дальнегорского свинцово-цинкового рудного района

ные районы Олд-Лед-Белт и Вибурнум-Белт (Юго-Восточное Миссури) и Гайс-Ривер в Южно-Аппалачской металлогенической зоне [12].

Площади рудных районов оконтуриваются по ареалам развития рудоносных формаций и составляют 100–1000 км<sup>2</sup>. Их выделение проводится по

признакам, указанным в табл. 4. Приведенные признаки рудных районов могут быть выявлены в результате прогнозно-металлогенических исследований с составлением специализированных карт м-ба 1:200 000 на структурно-формационной основе с использованием результатов геологоразведоч-

5. Количественные модели свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах, часто со скарнами

Запасы Pb и Zn, млн. т			Запасы руды, млн. т			Содержание (Pb+Zn), %					
Особо крупные*	Крупные от-до среднее	Рядовые от-до среднее	Мелкие*	Особо крупные*	Крупные от-до среднее	Рядовые от-до среднее	Мелкие*	Уникальные*	Богатые от-до среднее	Рядовые от-до среднее	Бедные*
>4,2	$\frac{0,8-4,2}{0,85}$	$\frac{0,06-0,8}{0,2}$	≤0,06	>33,0	$\frac{5,0-33,0}{8,5}$	$\frac{0,9-5,0}{3,0}$	≤0,9	>7,0	$\frac{11,1-27,0}{16,0}$	$\frac{4,5-11,1}{7,2}$	≤4,5
	0,5**			4,5**					11,0**		

\* Приведены граничные значения.

\*\* Средние значения запасов руды, суммы Pb и Zn, их содержания по выборке из 45 объектов.

ных работ м-ба 1:50 000. Базовыми картографическими материалами служат структурно-формационные прогнозные карты.

*Свинцово-цинковый в карбонатных породах, часто со скарнами рудно-формационный тип (приаргунский).* В региональном плане месторождения рассматриваемого типа приурочены к вулканоплутоническим поясам с отчетливо проявленным двухъярусным строением. Нижний структурный этаж представлен терригенными, кремнисто-терригенно-карбонатными и карбонатными формациями, верхний — вулканогенными и вулканогенно-осадочными. Месторождения скарнового типа локализуются на контактах силикатных и карбонатных пород нижнего структурного этажа.

В Дальнегорском рудном районе (Приаргунская провинция) (рис. 4) рудные тела скарновых (скарнированных) месторождений тяготеют к блокам, сложенным преимущественно карбонатными и углеродисто-кремнисто-карбонатными формациями, насыщенными гиповулканическими — субвулканическими и интрузивными фациями пород трахириолит-трахиандезитовой и гранитоидной формаций. На контакте доломитовых известняков фундамента и щелочных гранитов развиваются гранат-пироксеновые скарны с полиметаллическими рудами. На удалении от них в относительно чистых известняках полиметаллические руды скарнами не сопровождаются. Руды представлены сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, пиритом, блеклыми рудами, реже халькопиритом и пирротинном. Среднее отношение свинца к цинку 1:1. Рудные тела разнообразны по форме, представлены сложными трубами, штоками, линзообразными залежами и жилами. Их размеры по простиранию 200–300 м, по падению 100–600 м, мощность от 0,5 до 70 м. Основные количественные модельные параметры отражены в табл 5.

Типовые обстановки нахождения рудных районов приаргунского типа — это крупные тектонические блоки фундамента массивов, сложенные породами углисто-кремнисто-карбонатной формации, пронизанные гиповулканическими — субвулканическими трещинными телами лампрофиров, диоритов, сиенито-диоритов, щелочных гранитов орогенной трахириолит-трахиандезитовой формации, обрамленные наложенными терригенными (нижний этаж) и вулканогенными (верхний этаж) впадинами чехла (см. рис. 4).

Прогнозно-поисковая модель рудного района приаргунского рудно-формационного типа приведена в табл. 6.

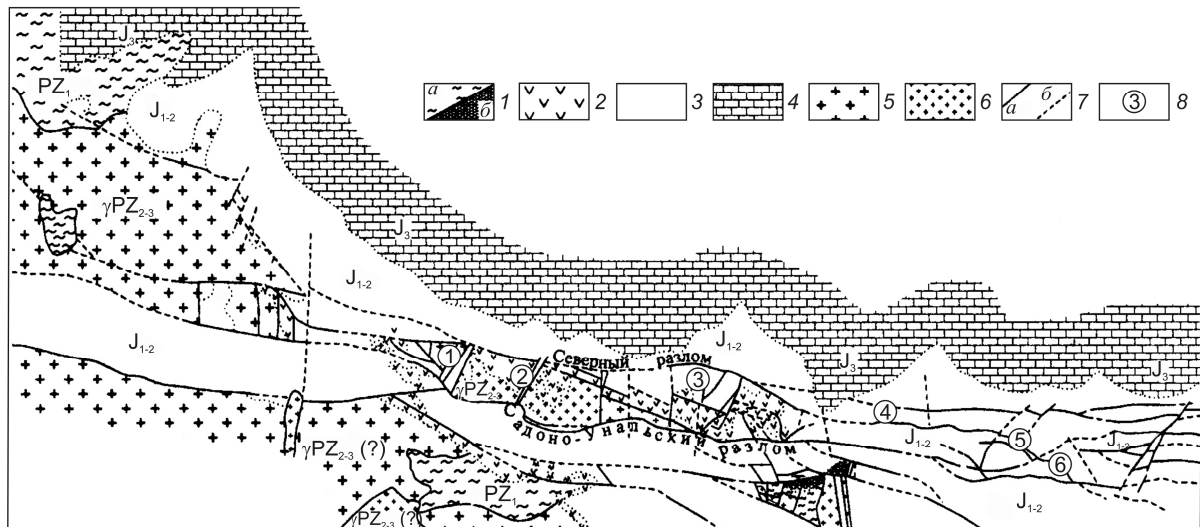
*Свинцово-цинковый серебросодержащий жильный в разнообразных породах рудно-формационный тип (садонский).* В качестве примера рассматрива-

**6. Прогнозно-поисковая модель рудного района свинцово-цинковой в карбонатных породах, часто со скарнами рудной формации (приаргунский тип)**

Элементы модели	Признаки рудного района
1. Формационные	
1.1. Рудоносная формация	Углисто-кремнисто-карбонатная, также рифогенная, олистостромовая карбонатная
1.2. Перекрывающая формация	Вулканогенно-осадочная (для Дальнегорского рудного района — риолит-андезитовая)
1.3. Подстилающая формация	Карбонатно-терригенная, терригенная (кварцито-глиноземисто-сланцевая)
2. Структурные	Крупные тектонические блоки фундамента
3. Магматические	Разнообразные интрузивные образования трахириолит-трахиандезитовой и гранитоидной формаций
4. Геохимические	Геохимические аномалии Pb, Zn, Ag, Bi, Sn
5. Минералогические	Месторождения, рудопроявления, точки минерализации и шлиховые ореолы минералов Pb, Zn, Ag, Bi, Sn
6. Геофизические	Комплексные геофизические, гравиметрические и магнитные аномалии

ется Садонский рудный район, который входит в Садонский свинцово-цинковый рудный пояс, расположенный в пределах альпийской геосинклинальной складчатой системы Большого Кавказа [3]. По данным Е.М.Некрасова и других исследователей, главная рудоконтролирующая структура — Садоно-Унальский горст-антиклинорий (рис. 5) — имеет

двухъярусное строение. Нижний ярус — фундамент альпийской складчатой системы — сложен среднепалеозойскими гранитами, фациально сменяющимися диоритами и кварцевыми диоритами, в меньшей степени распространены кристаллические сланцы и амфиболиты (докембрий — ранний палеозой). Граниты фундамента вмещают главные место-



**Рис. 5. Схема геологического строения Садонского рудного района:**

1 — кристаллические сланцы и гнейсы (а — нижнепалеозойские, б — каменноугольные кварциты); 2 — нижнеюрские покровные кератофиры; 3 — нижне-среднеюрская алевролитово-глинистая толща; 4 — верхнеюрские известняки; 5 — средне-позднепалеозойские граниты; б — предкембрийские (?) гранодиориты; 7 — разрывные нарушения (а — прослеженные; б — предполагаемые); 8 — месторождения (1 — Згид, 2 — Садон, 3 — Левобережное, 4 — Кадат, 5 — Хинаком, 6 — Какадур)

**7. Прогнозно-поисковая модель рудного района свинцово-цинковой серебросодержащей жильной в разнообразных породах рудной формации (садонский тип)**

Элементы модели	Признаки рудного района
1. Формационные 1.1. Рудоносная рудогенерирующая формация 1.2. Рудовмещающие образования	Среднепалеозойские гранитоиды, слагающие фундамент альпийской складчатой системы Граниты, кварцевые альбитофиры, реже диориты и кварцевые диориты, а также песчаники и сланцы юрского возраста
2. Структурные 2.1. Рудоносные структуры 2.2. Разрывные рудоносные нарушения	Горст-антиклинорий, представляющий собой цепь поднятий близширотного и северо-западного направлений Разлом северо-западного (330°) направления с падением на юго-запад под углами 70–80°, осложненный разломами северо-восточного простирания
3. Метасоматические	Серицитизация, окварцевание, хлоритизация, а также карбонатизация и сульфидизация
4. Геохимические	Геохимические аномалии Pb, Zn, Ag, Bi, Sn, Mn
5. Минералогические	Россыпи, шлиховые ореолы пирита, халькопирита, галенита, висутина, пирротина, арсенопирита

рождения. Расположенный выше структурный ярус представлен складчатым комплексом терригенных и вулканогенных пород юрского возраста, а верхний — перекрывающими их нижнемеловыми терригенно-карбонатными отложениями. Садоно-Унальский горст-антиклинорий образован цепью поперечных поднятий, заключенных между продольными разломами. На участке месторождения Садоно-Унальский разлом меняет простирание с близширотного на северо-западное (330°) и падает на юго-запад под углами 70–80°. Определенное влияние на локализацию оруденения, как отмечают многие исследователи, оказывает система разломов запад–северо-западного, северо-западного и северо-восточного направлений, сочленяющихся с Садоно-Унальским региональным разломом. Северо-восточные нарушения возникли в период накопления вулканитов. Они вмещают субвулканические тела кварцевых альбитофиров и трубообразные тела эруптивных брекчий порфиритов. Разломы этого направления — главные рудовмещающие нарушения на многих месторождениях Садонского рудного района.

Основными рудовмещающими породами служат палеозойские граниты, реже альбитофиры (Садонское, Архонское, Холстинское и Згидское месторождения). Месторождения Левобережное, Кадат, Какадур, Хинаком сосредоточены в юрских песчаниках и сланцах, Джимидонское — в докембрийских метаморфических сланцах.

Рудные тела представлены жилами и прожилково-вкрапленными зонами. Руды просты по минеральному составу. Рудные минералы — арсенопирит, пирит, сфалерит, галенит, пирротин, мельнико-

вит, марказит, халькопирит; редко отмечаются аргентит, висмутин, буланжерит, магнетит, жильные — кварц, хлорит, кальцит, мангансидерит, доломит. Верхние части рудных жил слабо окислены, содержат малахит, азурит, халькантит, церуссит, смитсонит, самородную медь. Текстуры руд массивные, полосчатые, реже прожилково-вкрапленные, структуры — зернистые, коррозийные.

Последовательность рудоотложения определяется наличием четырех минеральных ассоциаций, разделенных в результате внутрирудных тектонических движений и отвечающих кварцево-пиритовой, галенит-сфалеритовой, кварц-хлоритовой, хлорит-кальцитовой стадиям минерализации. Околорудные изменения зависят от состава вмещающих пород. Основные типы процессов — серицитизация, окварцевание, хлоритизация, а также карбонатизация и сульфидизация.

Рудные минералы содержат на Садоне обычный набор элементов-примесей. В галенитах обнаружены Ag, Cu, Sb, Bi, Zn, Co, в сфалеритах — Cu, Pb, Cd, Co, в пиритах — Sb, Ni, Co, Pb, Zn, Mo, As, Bi, Ag. По минеральному составу месторождения садонского типа сходны, в рудах преобладают сфалерит и галенит. Различия проявляются в количествах и составе сульфидов железа. В одних месторождениях преобладает пирротин (Садон, Холст, Лидовское и др.), в других развит пирит (Сардоб, Каменское, Какадур, Хинаком и др.). Как правило, значительная роль в рудах принадлежит кварцу, но на отдельных месторождениях (Згид, Кер д'Ален) в существенных количествах присутствует карбонат. Роль меди в целом для данного типа незначительна.



Свинцово-цинковые жилы в ряде случаев пространственно ассоциируют с залегающими на более низких горизонтах стратиформными телами свинцово-цинковых руд, поэтому могут рассматриваться как поисковый признак этих тел. Обобщенная прогнозно-поисковая модель рудного района (садонский тип) приведена в табл. 7.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кривцов А.И., Мигачев И.Ф.* Металлогения андезитовидных вулканоплутонических поясов. – М.: ЦНИГРИ, 1997. Ч. 1.
2. *Кудрявцева Н.Г.* Ряды рудных формаций месторождений цветных и благородных металлов в различных геодинамических обстановках Юго-Западного Алтая // Отечественная геология. 2001. № 6. С. 44–52.
3. *Методические основы прогноза и поисков свинцово-цинковых месторождений / Д.И.Горжевский, Н.К.Курбанов, Е.И.Филатов и др.* – М.: Недра, 1987.
4. *Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. «Свинец и цинк» / Г.В.Ручкин, В.Д.Конкин, А.И.Донец и др.* – М.: ЦНИГРИ, 2002.
5. *Попов В.В., Стучевский Н.И., Демин Ю.И.* Полиметаллические месторождения Рудного Алтая. – М.: ИГЕМ РАН, 1995.
6. *Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. IV. Комплексирование работ по прогнозу и поискам месторождений свинца и цинка в вулканогенных формациях. Методические рекомендации / Отв. ред. Е.И.Филатов.* – М.: ЦНИГРИ, 1983.
7. *Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. VII. Комплексирование работ по прогнозу и поискам месторождений свинца и цинка в вулканогенных формациях. Методические рекомендации / Отв. ред. А.И.Кривцов, Н.К.Курбанов.* – М.: ЦНИГРИ, 1984.
8. *Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. VIII. Комплексирование работ по прогнозу и поискам стратиформных месторождений свинца и цинка в карбонатных формациях. Методические рекомендации / Отв. ред. Д.И.Горжевский.* – М.: ЦНИГРИ, 1985.
9. *Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. XXI. Комплексирование работ по прогнозу и поискам колчеданно-полиметаллических месторождений в докембрийских углеродисто-терригенных комплексах. Методические рекомендации / Отв. ред. А.И.Кривцов.* – М.: ЦНИГРИ, 1987.
10. *Филатов Е.И.* Полиметаллические месторождения фанерозоя. – М.: Недра, 1986.
11. *Филатов Е.И., Ширай Е.П.* Формационный анализ рудных месторождений. – М.: Недра, 1988.
12. *Carbonate-hosted lead-zinc deposits / D.S.Sangster // Econ. Geol. Special publication number 4.* 1996.

УДК [553.41:553.491:553.541]:550.84 (571.6) © Н.В.Бердников, М.А.Пугачевский, В.С.Комарова, 2014

## ПЛАТИНА В УГЛЕРОДИСТЫХ СЛАНЦАХ: МОРФОЛОГИЯ, СОСТАВ И ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА

Н.В.Бердников (ФБГУН ИТиГ ДВО РАН), М.А.Пугачевский (ФБГУН ИМ ХНЦ ДВО РАН), В.С.Комарова (ФБГУН ИТиГ ДВО РАН)

*В углеродистых сланцах восточной части Буреинского массива (Дальний Восток России) платина выделяется в виде микровключений или ассоциирует с графитом в виде нанокристаллитов Pt и PtO<sub>2</sub>. Микровключения более характерны для низкотемпературных (зеленосланцевая фация) сланцев со слабо упорядоченным наноразмерным графитом, а нанокристаллиты Pt и PtO<sub>2</sub> — для высокотемпературных (амфиболитовая фация) с полнокристаллическим графитом.*

*Ключевые слова: платина, форма выделения, углеродистые сланцы.*

*Бердников Николай Викторович, nick@itig.as.khb.ru, Пугачевский Максим Александрович, pmaximal@mail.ru, Комарова Виктория Сергеевна, komarova@itig.as.khb.ru*

## PLATINUM IN CARBONACEOUS SCHISTS: MORPHOLOGY, COMPOSITION AND GENESIS

N.V.Berdnikov, M.A.Pugachevsky, V.S.Komarova

*Platinum in carbonaceous schists in the western part of the Bureya Massif (Russian Far East) occurs as graphite-associated micro-inclusions and Pt and PtO<sub>2</sub> nanocrystallites. The micro-inclusions are more common of the lower-temperature (greenschist facies) metamorphic schist with weakly ordered nano-scale graphite, whereas the Pt and PtO<sub>2</sub> nano-crystal clusters occur predominately in the high temperature (amphibole facies) metamorphic schist with highly ordered crystalline graphite.*

*Key words: platinum, segregation form, carbonaceous schists.*

Работами последних лет показано, что в отношении платиноносности перспективными могут быть углеродистые различно метаморфизованные осадочные комплексы. Платина обнаружена в собственно углеродистых сланцах и в приуроченных к ним месторождениях [4, 5, 14, 18 и др.]. В сланцах платина находится преимущественно в трудно диагностируемой тонкодисперсной форме, поэтому основное внимание исследователи уделяют анализу валовых содержаний металла в породах и рудах, приводя в публикациях, как правило, лишь

обзорные изображения ее микровыделений [8, 10, 13 и др.]. В то же время морфология, структура и вариации химического и фазового составов микровключений могут дать дополнительную информацию об их образовании и, соответственно, о закономерности формирования платинового оруденения в таких породах. Эти данные также могут быть полезны при разработке технологий обогащения высокоуглеродистых платиновых руд.

Авторами изучены углеродистые сланцы сутырской и кимканской толщ (Хабаровский край и ЕАО, Дальний Восток России), а также локализованного в кимканской толще графитового месторождения Союзное (рис. 1). Для низкотемпературных (зеленосланцевая фация метаморфизма) сланцев сутырской и кимканской толщ характерно скрытокристаллическое углеродистое вещество. Графитовые сланцы месторождения Союзное метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации и содержат полнокристаллический графит, образующий относительно крупные зерна и чешуйки.

Сутырская толща расположена в пределах Туранского террейна, а кимканская и локализованное в ней месторождение Союзное в пределах Малохинганского. Террейны являются частью раннепалеозойского Бурея-Ханкайского орогенного пояса и в основном представляют собой метаморфизованные фрагменты аккреционных призм [3].

Геологическое положение, петрохимические особенности и вопросы генезиса рассматриваемых

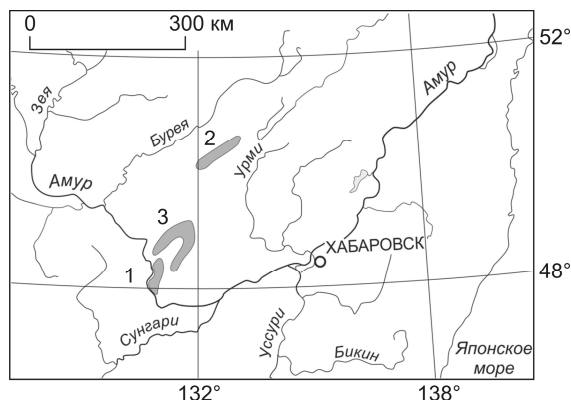


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования:

1 — графитовое месторождение Союзное; 2 — сутырская и 3 — кимканская толщи

объектов обсуждаются в работах [4, 14], месторождения Союзное в работе [16].

*Сутырская толща* (PR<sub>1</sub>) слагает тектонический блок в зоне Хинганского разлома. В ее составе преобладают слюдяные сланцы, среди которых встречаются филлиты, метаалевролиты, мраморы и кварциты. Для сланцев характерна повышенная углеродистость (1–5% C<sub>орг</sub>), встречаются пласто- и линзообразные тела с содержанием углеродистого материала от 10 до 80%. Сланцы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации, в местах контактового воздействия палеозойских гранитоидов они приобретают облик гнейсоподобных пород, нередко с гранатом, силлиманитом и андалузитом. На участке отбора проб толща инъецирована многочисленными дайками долеритов. Общая мощность толщи оценена в 1500 м.

Углеродистое вещество (УВ) в сланцах тонкозернистое сажеобразное, заполняет межкристаллитное пространство, подчеркивая слоистую структуру пород, и образует мелкую сыпь в кварце. По данным рентгеновской микродифракции и спектроскопии комбинационного рассеивания света УВ сутырской толщи представлено слабоупорядоченным графитом с размером чешуек не более 10–20 нм, с которым часто ассоциирует битумоидная составляющая [12]. Судя по изотопным характеристикам ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = -20,7 \div -24,4\text{‰}$ ), оно преимущественно биогенного происхождения [20].

*Кимканская толща* (Є<sub>1</sub>) слагает крупный блок в останцах кровли гранитов. В ее разрезе участвуют рассланцованные песчаники, мраморы, кварциты, алевролиты, углеродистые (0,5–2% C<sub>орг</sub>) слюдяно-кварцевые сланцы и филлиты, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций. Встречаются пачки высокоуглеродистых сланцев с содержанием C<sub>орг</sub> до 25,7%. Вблизи ордовикских интрузий гранитов рассланцованные породы контактово метаморфизованы с образованием роговиков амфибол- и мусковит-роговиковой фаций.

Как и в породах сутырской толщи, УВ кимканских сланцев состоит из слабоупорядоченного нанокристаллического графита, располагающегося вдоль слоистости и образующего микровключения в минералах [12]. Его утяжеленный изотопный состав ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = -16,5 \div -19,1\text{‰}$ ) позволяет предполагать, что наряду с биогенной составляющей в нем присутствует углерод глубинного происхождения [20].

*Месторождение графита Союзное* сложено чередованием более десятка пластов высокоуглеродистых пород со средним содержанием графита 16–18%. Площадь месторождения 60 км<sup>2</sup>. Согласно

прогнозным ресурсам графитовых руд (2–3 млрд. т), оно — одно из крупнейших месторождений графита в мире. Геологическое положение и петрохимические характеристики графитовых сланцев месторождения приведены в работе [16]. Графит в основном явно кристаллический, его изометричные чешуйки ориентированы вдоль слоистости пород, заполняют межзерновые пространства, трассируют трещинки спайности и раскола в зернах кварца и полевых шпатов, образуют в них микровключения. На микроуровне различаются четыре основные разновидности графита — пластинчатая, призматическая, игольчатая и колломорфная. Наиболее распространены изученные в данной работе пластинчатая и призматическая. Обогащенность графита легким изотопом углерода ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  от -20,6 до -23,8‰) говорит о его преимущественно биогенном происхождении [20].

Концентрации благородных металлов в углеродистых сланцах, определенные разными методами, значительно варьируют. Нами методом ICP-MS с кислотным разложением проб сделано более 130 определений [15]. Средние содержания составляют, мг/т: для сланцев сутырской толщи Pd 39,9, Pt 13,9, Au 502,9, для сланцев кимканской толщи Pd 43,0, Pt 11,4, Au 107,2, для сланцев месторождения Союзное Pd 12,1, Pt 4,2, Au 151,8. По результатам балансовых расчетов после гравитационно-флотационного обогащения содержания Pt в углеродистых сланцах сутырской и кимканской толщ 0,44 и 490 мг/т соответственно [1]. Л.И.Гурская [5] приводит данные о содержаниях платины в сланцах кимканской толщи до 10 г/т.

Основным методом обнаружения и исследования форм нахождения платины в углеродистых сланцах была сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (РЭМ EVO 40HV, Carl Zeiss, Германия; спектрометры INCA Energy 350 и X-MAX 80, Oxford instruments, Великобритания). Изучались свежие сколы пород и осадки после их растворения в кислотах. Привлекались также результаты минералогического анализа протолок и продуктов гравитационного обогащения (минералог Л.И.Щербак, ИГД ДВО РАН, Хабаровск), данные просвечивающей электронной микроскопии (микродифракция и спектроскопия энергетических потерь электронов (EELS) на ПЭМ Libra-120, ДВГУПС, Хабаровск) чешуек графита.

В изученных нами углеродистых метаосадочных породах платина присутствует в трех формах: макровключения, микровключения и рассеянная в графите. К макровключениям нами отнесены зерна размером >0,05 мм, диагностируемые под оптиче-

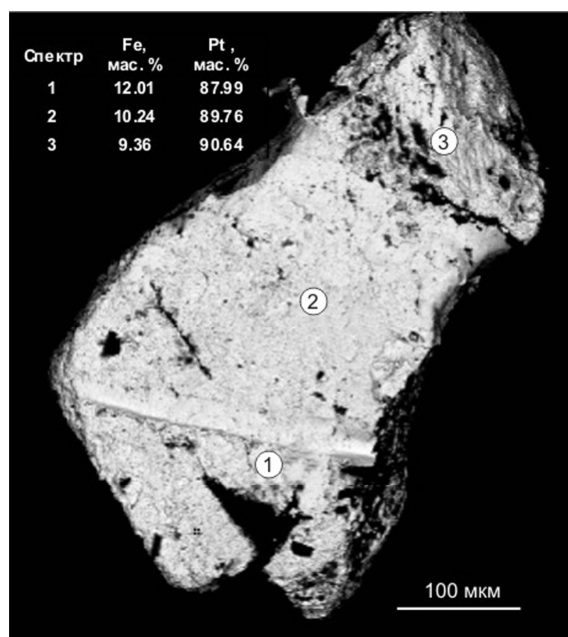


Рис. 2. Макровключение платины из углеродистых сланцев сутырской толщи:

1–3 — точки анализа

ским микроскопом и выделяемые с помощью гравитационных и флотационных методов обогащения. Как правило, в их составе преобладает платина, в качестве основной примеси содержится железо. Микровключениями считаются выделения меньшего размера, чаще всего <20 мкм. В них по данным энергодисперсионного анализа содержание Pt от долей до 93 мас. %, остальное приходится на долю примесей, среди которых преобладают элементы породной матрицы. Рассеянная в графите платина диагностируется лишь специальными методами EELS спектроскопии и микродифракции.

Макровключения платины обнаружены только в углеродистых сланцах сутырской толщи методами минералогического анализа протолок и продуктов гравитационного обогащения [1] (рис. 2). Они относятся к изоферроплатине и по количеству железа (9,4–12,0 мас. %) сходны с изоферроплатиной из дунитов и клинопироксенитов массива Кондер (7,5–9,5 мас. % Fe, по [9]). Микровключения, в составе которых зафиксирована платина, часто встречаются в изученном материале. Наиболее широко их разновидности представлены в сланцах кимканской толщи (рис. 3).

Как показывают результаты микрозондовых исследований (рис. 4; см. рис. 3 в мас. %; стрелки — места точечных анализов), содержания платины в микровключениях различной морфологии неодина-

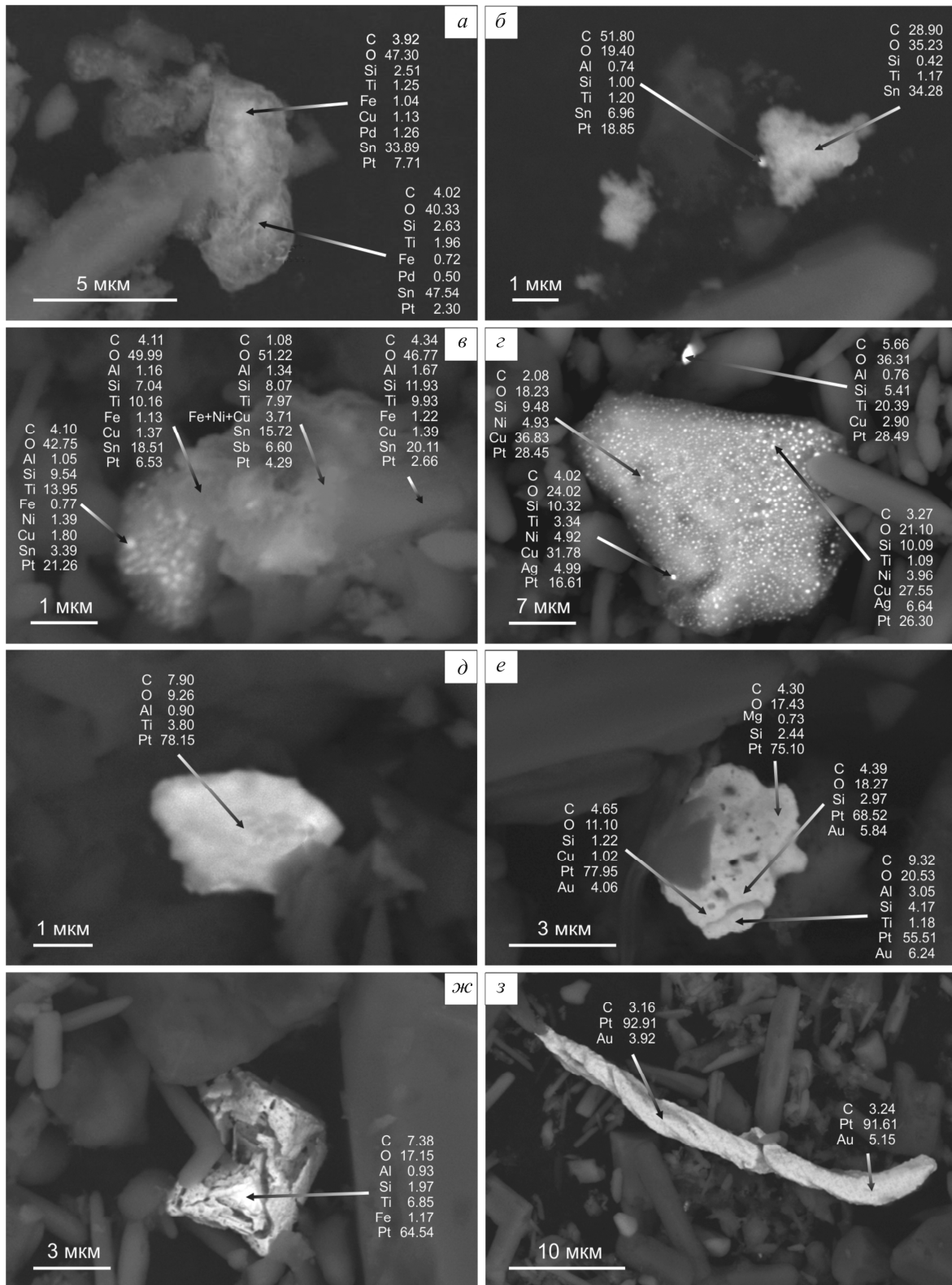
ковы. Наиболее низкие ее концентрации отмечены в субкристаллических включениях, обогащенных оловом (см. рис. 3, *a–в*) и медью (см. рис. 3, *г*). При этом платина может находиться в них как в рассеянном состоянии (см. рис. 3, *a*), так и в виде наноразмерных выделений, ассоциирующих с обогащенными оловом или медью фазами (см. рис. 3, *б–г*). Этот вывод сделан нами на основании анализа СЭМ-изображений включений в режиме обратнорассеянных электронов. Микровключения с рассеянной платиной имеют на них относительно равномерный фототон (см. рис. 3, *a*), в то время как нановыделения платины отображаются в виде точек повышенной яркости (см. рис. 3, *б–г*). Фиксируемые энергодисперсионным микроанализом примеси C, O, Si, Al, Ti, Fe могут как входить в состав самих микровключений, так и принадлежать материалу матрицы.

Включения с высокими концентрациями платины (см. рис. 3, *д–з*) характеризуются равномерным фототоном в обратнорассеянных электронах. Концентрации других элементов (за исключением Au) являются, вероятнее всего, результатом попадания в область возбуждения аналитического рентгеновского излучения материала породной матрицы. Такие микровключения имеют форму угловатых частичек, пластинок, проволочек, реже футляровидных и полнопроявленных кристаллов.

В углеродистых сланцах сутырской толщи обогащенные платиной микровключения встречаются значительно реже. Так, если в 25 изученных образцах сланцев кимканской толщи 38 микровключений с платиной (1,52 вкл./обр.), то в 14 образцах сутырских сланцев лишь пять Pt-содержащих микровключений (0,36 вкл./обр.). Морфологически они менее разнообразны: это неправильные с размытыми краями (см. рис. 4, *a–б*) или пластинчатые (см. рис. 4, *в–г*) выделения размером 1–5 мкм.

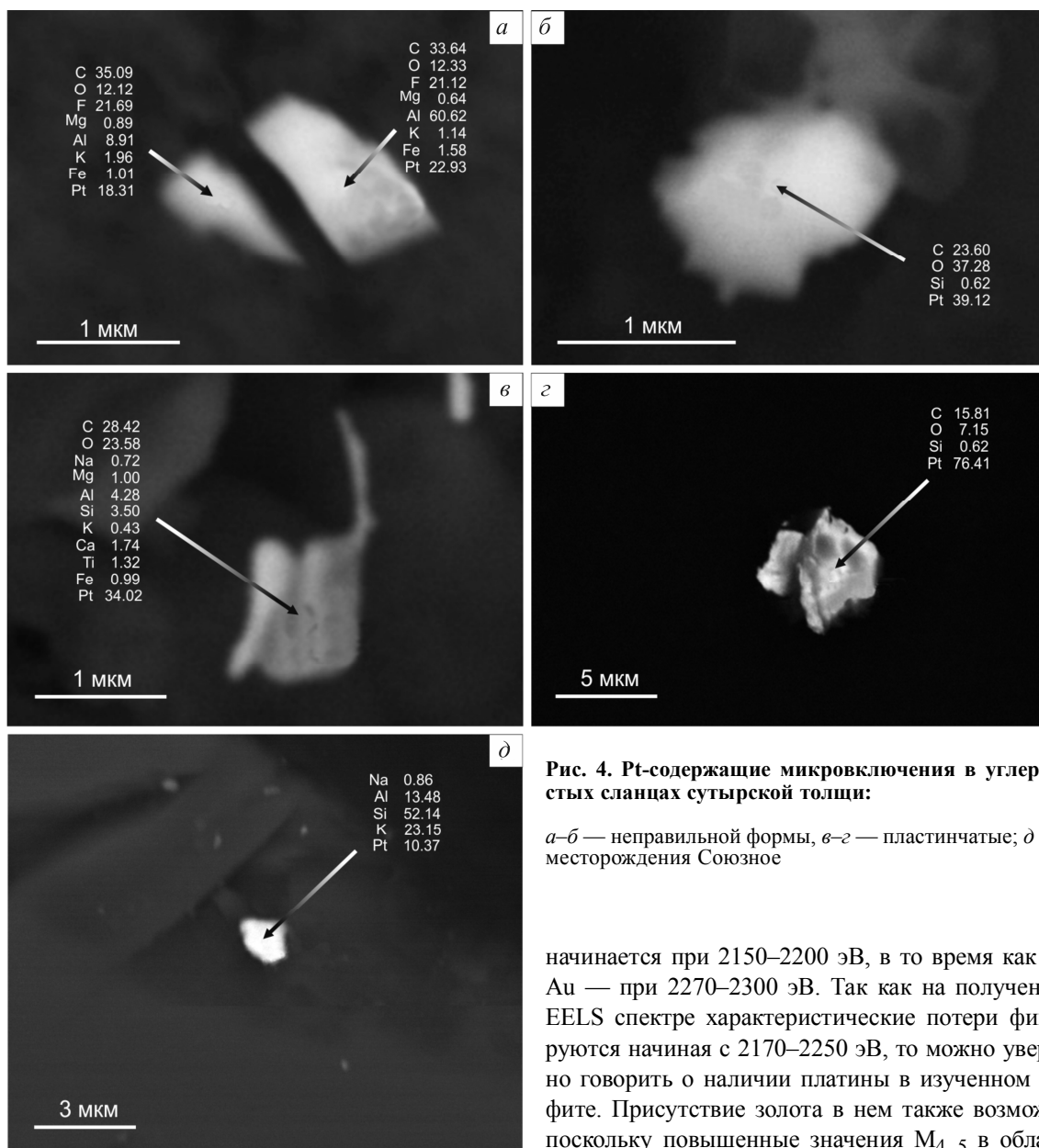
Содержание платины в микровключениях из сланцев сутырской толщи в соответствии с результатами энергодисперсионного микроанализа колеблется от 18,3 до 76,4 мас. %. При этом в отличие от микровключений из сланцев кимканской толщи в них в качестве примесей фиксируются только элементы углерод-силикатной матрицы. Примеси других металлов (Ni, Cu, Sn, Au, Ag) отсутствуют. Учитывая малые размеры включений, нам представляется, что в составе самих микровключений преобладает платина, а примеси обусловлены попаданием в зону возбуждения аналитического рентгеновского излучения вещества матрицы [2].

Микровключения платины в графитовых сланцах месторождения Союзное редки. Их размеры варьируют от долей мкм до 1–2 мкм (см. рис. 4, *д*). По данным энергодисперсионного микроанализа



**Рис. 3. Основные разновидности Pt-содержащих микровключений в углеродистых сланцах кимканской толщи:**

*а* — Pt рассеяна в оловянистой фазе; *б-г* — наноразмерная Pt в ассоциации с оловянистой (*б, в*) и медистой (*г*) фазами; платина высокой чистоты: *д* — однородные, *е* — пористые микрочастицы, *ж* — футляровидные микрокристаллы, *з* — «проводачки»



**Рис. 4.** Pt-содержащие микровключения в углеродистых сланцах сутырской толщи:

*а–б* — неправильной формы, *в–г* — пластинчатые; *д* — месторождения Союзное

содержания в них Pt не превышают 10 мас. %, остальное приходится на долю примесей порообразующих элементов Si, Al, Na, K.

EELS спектроскопия графитовых чешуек позволила в ряде образцов сланцев месторождения выявить характеристические потери энергии электронов  $O_{2,3}$ , соответствующие Pt и Au, и представить визуальную картину их распределения в графите (рис. 5, *а*) [12]. Поскольку Pt и Au имеют близкие значения  $O_{2,3}$ , для детализации полученного результата определен EELS спектр характеристических потерь  $M_{4,5}$  [21] (см. рис. 5, *в*). Известно, что область характеристических потерь  $M_{4,5}$  для Pt

начинается при 2150–2200 эВ, в то время как для Au — при 2270–2300 эВ. Так как на полученном EELS спектре характеристические потери фиксируются начиная с 2170–2250 эВ, то можно уверенно говорить о наличии платины в изученном графите. Присутствие золота в нем также возможно, поскольку повышенные значения  $M_{4,5}$  в области >2250 эВ могут быть результатом наложения спектров поглощения Pt и Au. Однако это представляется маловероятным, если принять во внимание данные о предпочтительном вхождении платины в графит [7]. В нанокристаллическом графите сутырской и кимканской толщ платина и золото данным методом не обнаружены (см. рис. 5, *б*) [12].

Результаты EELS картирования чешуек графита изученных сланцев представлены в табл. 1. Видно, что примерно в одной трети изученных чешуек высокотемпературного полнокристаллического графита месторождения Союзное зафиксировано присутствие платины ( $\pm Au$ ).

Для выяснения фазовой природы платины в графите использован метод Select Area Electron Diffrac-

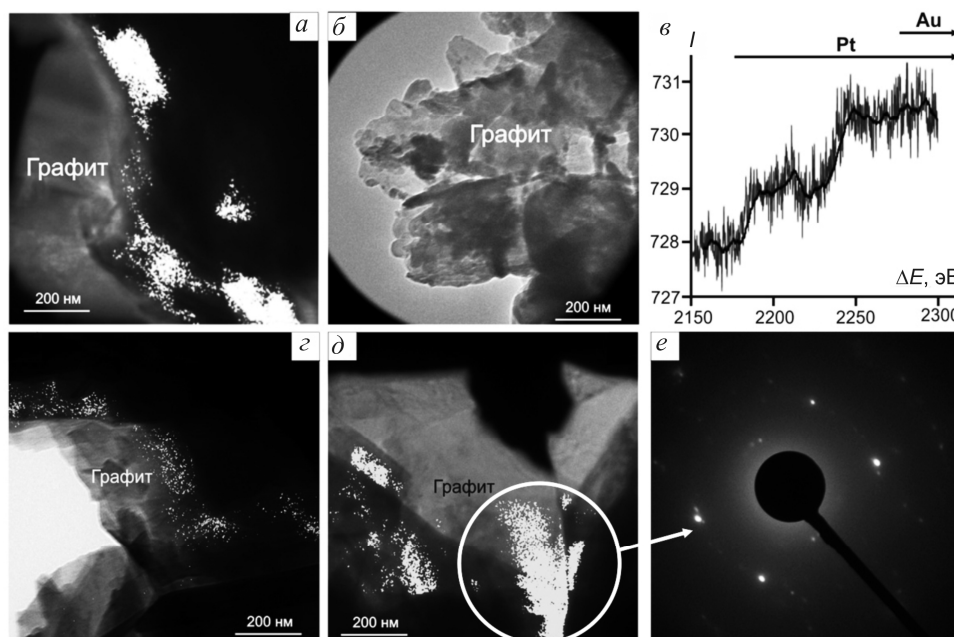


Рис. 5. Результаты EELS спектроскопии чешуек графита:

белые точки — места скопления благородного металла из сланцев месторождения Союзное (*a*, *z*, *d*) и кимканской толщи (*b*); *v* — спектр характеристических потерь  $M_{4,5}$  ( $I$  — интенсивность; сплошная линия — усредненные значения) в графите месторождения Союзное; *e* — электронная микродифракция от области скопления благородного металла на изображении *d*

tion (SAED) с диафрагмой Select Area 10 мкм. Изучались области графита из обр. O-52 месторождения Союзное, в которых по данным EELS картирования выявлена платина. В этих областях выполнены микродифракционные исследования участков площадью  $\sim 0,5$  мкм<sup>2</sup> (см. рис. 5, *d*, *e*). При идентификации микродифракционных картин установлено, что платина в графите может присутствовать как в виде металла, так и в виде PtO<sub>2</sub> (табл. 2). Анализ картотеки базы данных ASTM [19] показал, что кроме фаз Pt и PtO<sub>2</sub> полученные значения  $d$  характерны для соединений платины с кремнием Pt<sub>2</sub>Si и Pt<sub>64</sub>Si<sub>36</sub>. Однако их наличие в образце маловероятно из-за отсутствия на EELS спектрах изученных участков графит-

товых чешуек характеристических пиков кремния. Сравнение полученных значений  $d$  с межплоскостными расстояниями для Au свидетельствует также о малой вероятности нахождения в графите золота.

Таким образом, согласно нашим данным, морфология и состав выделений, формирующих платинометалльную минерализацию углеродистых сланцев изученных проявлений, различны. В сланцах сутырской толщи присутствуют относительно крупные зерна изоферроплатины, которые в сланцах кимканской толщи и месторождения Союзное не обнаружены. Представляется, что наиболее вероятным их источником могли быть дайки и небольшие тела оливиновых долеритов, обильно

#### 1. Результаты EELS картирования чешуек графита изученных сланцев

Номера образцов	Место взятия	Число изученных препаратов		Частота обнаружения Pt ( $\pm$ Au), %
		Всего	Обнаружено Pt ( $\pm$ Au)	
704	Месторождение Союзное	11	3	27
O-52		17	5	29
739	Кимканская толща	11	0	0
631		10	0	0
562-Т	Сутырская толща	9	0	0
565		8	0	0

## 2. Результаты микродифракции чешуек графита месторождения Союзное

Образец		Эталонные значения							
О-52		Графит		Pt		PtO <sub>2</sub>		Au	
<i>d</i>	<i>Int</i>	<i>d</i>	<i>Int</i>	<i>d</i>	<i>Int</i>	<i>d</i>	<i>Int</i>	<i>d</i>	<i>Int</i>
3,34	40	3,38	100						
3,18	36					3,19	100		
						2,58	70		
								2,35	100
				2,27	100	2,27	55		
		2,12	5						
								2,04	51
1,98	53	2,02	10						
1,96	19			1,96	86				
1,66	15	1,69	10			1,69	90		
1,59	20					1,60	40		
1,55	18					1,56	35		
								1,44	39
						1,43	35		
1,38	11			1,39	86	1,42	20		
		1,23	18					1,23	47
1,16	21			1,18	100			1,18	14
1,15	17	1,15	9						
1,13	15	1,12	1	1,13	57				

интродуцирующих сутырскую толщу в районе опробования. По-видимому, макровключения попали в материал сланцев при отборе крупнообъемной (70 кг) технологической пробы для экспериментов по гравитационному и флотационному обогащению [1]. В таком случае отсутствие этой формы выделения платины в сланцах кимканской толщи и месторождения Союзное связано с отсутствием на территории их проявления подобных магматических образований. Поэтому данная форма выделения платины, вероятнее всего, не сингенетична углеродистым сланцам и не характерна для них.

Обогащенные платиной микровключения в углеродистых сланцах кимканской толщи условно можно разбить на три группы: платина, рассеянная в аморфной (?) фазе (см. рис. 3, *a*); нановыделения платины в ассоциации с фазами, обогащенными другими металлами (Ni, Cu, Sn, см. рис. 3, *b–z*); существенно платиновые микровключения (см. рис. 3, *d–z*). По-видимому, включения этих групп представляют последовательные этапы их перекристаллизации и очищения от примесей. Начальным этапам отвечают микровключения с рассеянной в аморфной фазе платиной, конечным — ее кристаллические формы, пластинки и проволоочки.

Микровключения из сланцев сутырской толщи и месторождения Союзное сходны по составу. Его вариации связаны со степенью захвата в зону возбуждения аналитического излучения материала матрицы: в мелких включениях «примесей» эле-

ментов матрицы больше (см. рис. 4, *a–в, d*), в относительно крупных — меньше (см. рис. 4, *z*).

Платина, рассеянная в графите месторождения Союзное, представляет собой особую форму выделения. Возможность хемосорбции платины на графит доказана экспериментально [11]. Отмечено, что количество сорбированной графитом платины увеличивается с температурой и достигает при 500°C  $3,92 \cdot 10^{-3}$  моль Pt на 1 кг сухого вещества (790 г/т).

Ранее сообщалось о различных формах ассоциации платины с углеродом. Это полученные экспериментально наноразмерные проволоочки и частички, формирующиеся в каналах нанотрубок, платиновые пластинки толщиной 2–3 нм между слоями графита (Pt-графитовый интеркалат) [6, 17], а также упомянутая выше сорбированная форма. В отобранных нами образцах природного графита каких-либо отдельных фаз платины в графите визуально не зафиксировано на всех уровнях увеличений сканирующего и просвечивающего микроскопов. Это говорит о том, что Pt и PtO<sub>2</sub> рассеяны в графите или адсорбированы на его поверхности в виде наноразмерных (первые нанометры) выделений.

Обнаружение ассоциированной с графитом платины в высокотемпературных сланцах месторождения Союзное и отсутствие ее в низкотемпературном графите сланцев сутырской и кимканской толщ подтверждает экспериментальные данные о наиболее интенсивной сорбции платины углеродом при высоких (~500°C) температурах [11].



Проведенные исследования показывают, что платина в углеродистых сланцах выделяется в виде микровключений или ассоциирует с графитом в виде наноразмерных кристаллитов Pt и PtO<sub>2</sub>. Микровключения более характерны для низкотемпературных (зеленосланцевая фация) сланцев со слабо упорядоченным наноразмерным графитом, а наноразмерные выделения — для высокотемпературных (амфиболитовая фация) графитовых сланцев. Возможно, эта закономерность — результат перераспределения платины при возрастании температуры из микровключений в графит.

Полученные данные необходимо учитывать при разработке критериев поиска платиновой минерализации в углеродистых породах, а также при создании технологий обогащения и переработки высокоуглеродистого платинового сырья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Т.Н., Черепанов А.А., Бердников Н.В.* Результаты минералогического и технологического изучения благороднометалльной минерализации углеродистых пород сутырской и кимканской толщ Буреинского массива // Проблемы комплексного освоения георесурсов: мат-лы IV Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых (Хабаровск, 27–29 сентября 2011 г). Хабаровск, 2011. Т. 1. С. 229–235.
2. *Бердников Н.В., Коновалова Н.С., Зазулина В.Е.* Исследование включений благородных металлов в высокоуглеродистых породах методом РЭМ-РСМА // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 2. С. 90–96.
3. *Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России* / Ред. А.И.Ханчук. – Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1, 2.
4. *Графитовые сланцы как перспективный источник благородных металлов на Дальнем Востоке России* / А.И.Ханчук, А.Н.Диденко, И.Ю.Расказов и др. // Вестн. ДВО. 2010. № 3. С. 3–12.
5. *Гурская Л.И.* Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.
6. *Дунаев А.В.* Слоистые углеродные матрицы с наночастицами металлов: получение и свойства: Автореф. дис... канд. химических наук. М., 2010.
7. *Заводинский В.Г., Михайленко Е.А., Ханчук А.И.* Сравнительное моделирование поведения благородных металлов в графитовых сланцах // Георесурсы. 2012. № 1. С. 25–27.
8. *Нанодисперсное состояние металлов и их миграция в углеродистых природных средах* / В.К.Немеров, Э.А.Развозжаева, А.М.Спиридонов и др. // ДАН. 2009. Т. 425. № 2. С. 233–236.
9. *Некрасов И.Я.* Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. – М.: Наука, 1994.
10. *Новые данные по платиновой минерализации золотых руд месторождения Сухой Лог (Ленский золоторудный район, Россия)* / В.В.Дистлер, М.А.Юдовская, Э.А.Развозжаева и др. // ДАН. 2003. Т. 393. № 4. С. 524–527.
11. *Плюснина Л.П., Кузьмина Т.В.* Моделирование хемосорбции золота и платины на графит, синтезированный из битумоидов // Тр. XV Всероссийского совещания по экспериментальной минералогии. Сыктывкар, 2005. С. 397–398.
12. *Фазовое состояние углеродистого вещества металлоносных сланцев Дальнего Востока России* / Н.В.Бердников, Т.Г.Шумилова, С.А. Пячин и др. // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 4. С. 42–49.
13. *Формы нахождения платиновых металлов в рудах золота из черных сланцев* / Н.П.Ермолаев, Н.А.Созинов, В.А.Чиненов и др. // Геохимия. 1995. № 4. С. 524–532.
14. *Ханчук А.И., Невструев В.Г., Бердников Н.В., Нечев В.П.* Петрохимические особенности углеродистых сланцев в восточной части Буреинского массива и их благороднометалльная минерализация // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 6. С. 815–828.
15. *Черепанов А.А., Бердников Н.В.* Благородные металлы в углеродистых породах восточной части Буреинского массива: новые данные // Тектоника, глубинное строение и минералогия Востока Азии. VIII Косыгинские чтения. Мат-лы Всероссийской конференции. 17–20 сентября, Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН. Владивосток, 2013. С. 339–342.
16. *Черепанов А.А.* Крупнейшее месторождение графита Союзное (новые данные) // Отечественная геология. 2014. № 1. С. 21–32.
17. *Masayuki S., Koichi I. and Masahiko A.* Formation of platinum nanosheets between graphite layers // Chemical Communications. 2000. P. 623–624.
18. *Noble metal-graphite mineralization: A comparative study of the carbonaceous granite-gneiss complex and shales of the Russian Far East* / A.I.Khanchuk, V.P.Nechaev, L.P.Plyusnina et al. // Ore Geology Reviews. 2013. Vol. 53. P. 276–286.
19. *Powder Diffraction File. Joint Committee on Powder Diffraction Standards ASTM Philadelphia PA. 1967.* Card 1-1190 (Pt). Card 21-613 (PtO<sub>2</sub>). Card 17-683 (Pt<sub>2</sub>Si). Card 39-1295 (Pt<sub>64</sub>Si<sub>36</sub>).
20. *Rollinson H.R.* Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. – Essex: London Group UK Ltd., 1994.
21. *Tri- and quadri-metallic ultrathin nanowires synthesized by one-step phase-transfer approach* / W.-Q.Han, D.Su, L.Wu, T.Aoki and Y.Zhu // Nanotechnology. 2009. Vol. 20. P. 495605–495609.

УДК 553.3.041:553.411 (470.55/.57)

© В.А.Филиппов, А.Л.Чернов, 2014

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО УРАЛА

**В.А.Филиппов (ООО «Геопоиск», г. Екатеринбург), А.Л.Чернов (Башкортостанский филиал ЦБУ ТФГИ по ПФО, г. Уфа)**

*Террейн черносланцевых миогеосинклинальных нижнерифейских отложений был источником золота и главным местом локализации золотого оруденения в Авзянском золоторудном районе на западном склоне Южного Урала. Путем анализа геологической обстановки в этой структуре выделены наиболее перспективные участки для обнаружения промышленного золотого оруденения.*

*Ключевые слова: террейн черносланцевых миогеосинклинальных отложений, нижний рифей, Авзянский золоторудный район.*

*Филиппов Виталий Алексеевич, tantsyrew@mail.ru, Чернов Александр Лаврентьевич*

## WEST SLOPE OF THE SOUTH URALS: GOLD PROSPECTIVITY OF BLACK SHALE FORMATIONS

**V.A.Philippov, A.L.Chernov**

*The black shale miogeosyncline sequence of Lower Riphean was the source of gold and the main hosting environment place of gold occurrences in Avzyan gold ore district on the west slope of the South Urals. As a result of the geological setting analysis of this structure the most promising parts of the structure were defined.*

*Key words: black shale terrain, miogeosyncline, Lower Riphean, Avzyan gold district.*

На западном склоне Южного Урала в Башкирском мегантиклинории (БМА) с середины XIX в. велась добыча золота. Район добычи, сложенный рифейскими осадочными породами, получил в литературе название Авзянского золоторудного района (АЗР). Из его россыпей за весь период разработки добыто >2,2 т золота [3]. Но единственное разрабатываемое в районе месторождение рудного золота Горный Прииск уступало по запасам и содержанию Au в рудах более богатым месторождениям восточного склона Башкирского Урала. Поэтому, а также в связи со значительной выработкой россыпей и запрещением их старательской разработки добыча золота в АЗР в 1950 г. была полностью прекращена. В настоящее время на фоне продолжающейся дискуссии о формационной принадлежности рифейских отложений БМА даже в условиях повышенного спроса на золото отношение к возможному возобновлению его добычи в АЗР остается сдержанным. Ни государство, ни частные предприниматели не спешат вкладывать деньги в кажущиеся экзотичными объекты, залегающие в недостаточно ясной геологической обстановке.

Башкирский мегантиклинорий — составная (аккретированная) структура [10]. Нижнерифейские отложения ее западного террейна относятся к саткинской, бакальской и кабаковской свитам платформенного типа, а нижнерифейские отложения восточного террейна в составе суранской и юшинской свит бурзянской серии — миогеосинклинальные, что согласуется с их большой мощностью,

развитием флиша [7, 10] и характером металлогении. В раннерифейское время названные террейны находились в состоянии коллизионного взаимодействия [10]. Рифтогенный этап развития БМА начался в среднем рифее [11].

В блоках миогеосинклинального террейна находятся практически все золотопоявления АЗР. Важным диагностическим признаком черносланцевых отложений террейна является наличие вкрапленности золотосодержащего мышьяковистого пирита. Среднее содержание Au в нем в 40 раз, а As в три раза выше, чем в пирите из черносланцевых отложений среднерифейской юрматинской серии [8]. По данным В.А.Буряка [1], отношение Ni:Co в пирите из золотоносных сульфидных зон Ленского района Восточной Сибири изменяется (по усредненным данным) от 0,7 в нижних корневых частях зон до 1,5–1,6 в верхних апикальных. В бурзянской серии это отношение составляет в среднем 1,25 и, таким образом, попадает в интервал благоприятных значений (0,7–1,6), а в юрматинской серии уменьшается до 0,25. Насколько отношение Ni:Co в пирите как критерий рудоносности универсально и информативно можно судить по другому примеру: на известном Гагарском золоторудном месторождении на восточном склоне Среднего Урала оно составляет 0,87, а на соседнем Мезенском колчеданном уменьшается до 0,11 [8]. В процессе метазенеза золотосодержащий пирит частично освобождался от мышьяка, и последний входил в состав арсенопирита [8]. Золото при этом концентрирова-

лось в новообразованных метакристаллах пирита, при окислении которых частички золота окружались лимонитовой «рубашкой». Подобное золото в АЗР обнаружено в шлихах из русловых отложений р. Багряжка и на Усть-Кагинском рудопроявлении.

Все известные золотопроявления АЗР приурочены к двум линейным зонам, которые в дальнейшем изложении в соответствии с их местоположением будем называть Западной и Восточной зонами. Западная зона субмеридионального простирания включает, начиная с юга: Куртмалинскую россыпь, месторождение Горный Прииск, рудопроявления Багряжкинское и Улюк-Бар (рис. 1). Протяженность зоны около 40 км. К северу золотопроявления Западной зоны сменяются в тех же отложениях бурзянской серии проявлениями флюоритовой минерализации, наиболее крупное из которых Суранское месторождение флюорита. Восточная зона также субмеридионального простирания включает Усть-Кагинское рудопроявление, россыпь Осиновый Лог, Ишлинскую золото-серебряную аномалию и ряд мелких золотопроявлений в породах машакской, юрматинской и каратауской серий, встреченных в интервале между россыпью Осиновый Лог и Ишлинской аномалией вблизи предполагаемого выхода глубинного разлома. Протяженность Восточной зоны около 45 км.

У южного окончания обеих зон находятся россыпи, образовавшиеся за счет разрушения золото-кварцевых проявлений в пестроцветных терригенных и терригенно-карбонатных породах каратауской серии, в которых сульфидная минерализация присутствует лишь в отдельных маломощных горизонтах [9] и вследствие этого не может быть существенным источником золота. По заключению одного из авторов, названные породы каратауской серии в процессе байкальского тектогенеза были надвинуты с запада на золотопродуктивные черносланцевые породы бурзянской серии [11]. В связи с этим промышленное золото-кварцевое оруденение в породах аллохтона и россыпи золота на них могут указывать на вероятное промышленное золото-сульфидное и золото-кварц-сульфидное оруденение в подстилающих породах автохтона. Интенсивные надвиговые дислокации в БМА происходили и в позднепалеозойское время, в период герцинского тектогенеза [2], поэтому в ряде участков миогеосинклинальные отложения раннерифейской бурзянской серии надвинуты с востока на отложения среднерифейской юрматинской серии, т.е. являются аллохтоном. Учет влияния двух главных этапов тектогенеза необходим для понимания сложного тектонического строения БМА.

Отчетливо выраженный линейный характер золотоносных зон АЗР однозначно свидетельствует о генетической связи их с региональными разломами глубинного заложения. На современном структурном плане поверхности выходы этих разломов часто не картируются, так как перекрыты в результате позднепалеозойских дислокаций мелкими тектоническими блоками, надвинутыми с востока. Однако в некоторых участках, менее затронутых дислокациями, признаки золотого оруденения в виде геохимических аномалий золота и серебра, выходов кварцевых жил и серицитизированных пород прослеживаются на значительные расстояния вдоль вероятных выходов глубинных разломов. Это относится к интервалу между Усть-Кагинским рудопроявлением и россыпью Осиновый Лог и к протяженной Ишлинской аномалии.

Таким образом, геологическая обстановка и геохимические особенности рудовмещающих отложений позволяют положительно оценивать перспективы АЗР в целом на коренное золото, и данная оценка не исключение [4]. В целях обоснования направлений дальнейших исследований и выделения наиболее рудоперспективных участков кратко охарактеризуем рудопроявления из обеих рудоносных зон АЗР.

Куртмалинская россыпь на юге Западной зоны находится около выхода тектонического контакта пород юрматинской и каратауской серий. Последние относятся нами к аллохтону, под которым могут залегать золотопродуктивные породы бурзянской серии. По сообщению В.Г.Меньшикова [4], в штучных пробах из джаспероидов, встречающихся на контакте карбонатных пород каратауской серии с дайками диорита, содержание Au достигает 60 г/т, но масштаб данного оруденения не ясен. На поверхностном выходе терригенных пород юрматинской серии нами отмечены обломки серицитовых метасоматитов с обильной вкрапленностью окисленных кристаллов пирита. Пробирным анализом золото в них не обнаружено, хотя внешне они напоминают окисленные золотосодержащие метасоматиты из зальбандов кварцевых жил на месторождении Горный Прииск.

Месторождение Горный Прииск находится в 23 км к северу от Куртмалинской россыпи. По нашим данным, оно залегает в породах вязовской подсвиты юшинской свиты (рис. 2). Тектонический блок пород подсвиты размером 2×1 км с флангов окружен породами серегинской подсвиты зигазино-комаровской свиты юрматинской серии. У некоторых исследователей это создало впечатление, что и рудовмещающие породы Горного Прииска также относятся к юрматинской серии. Данное впечатле-

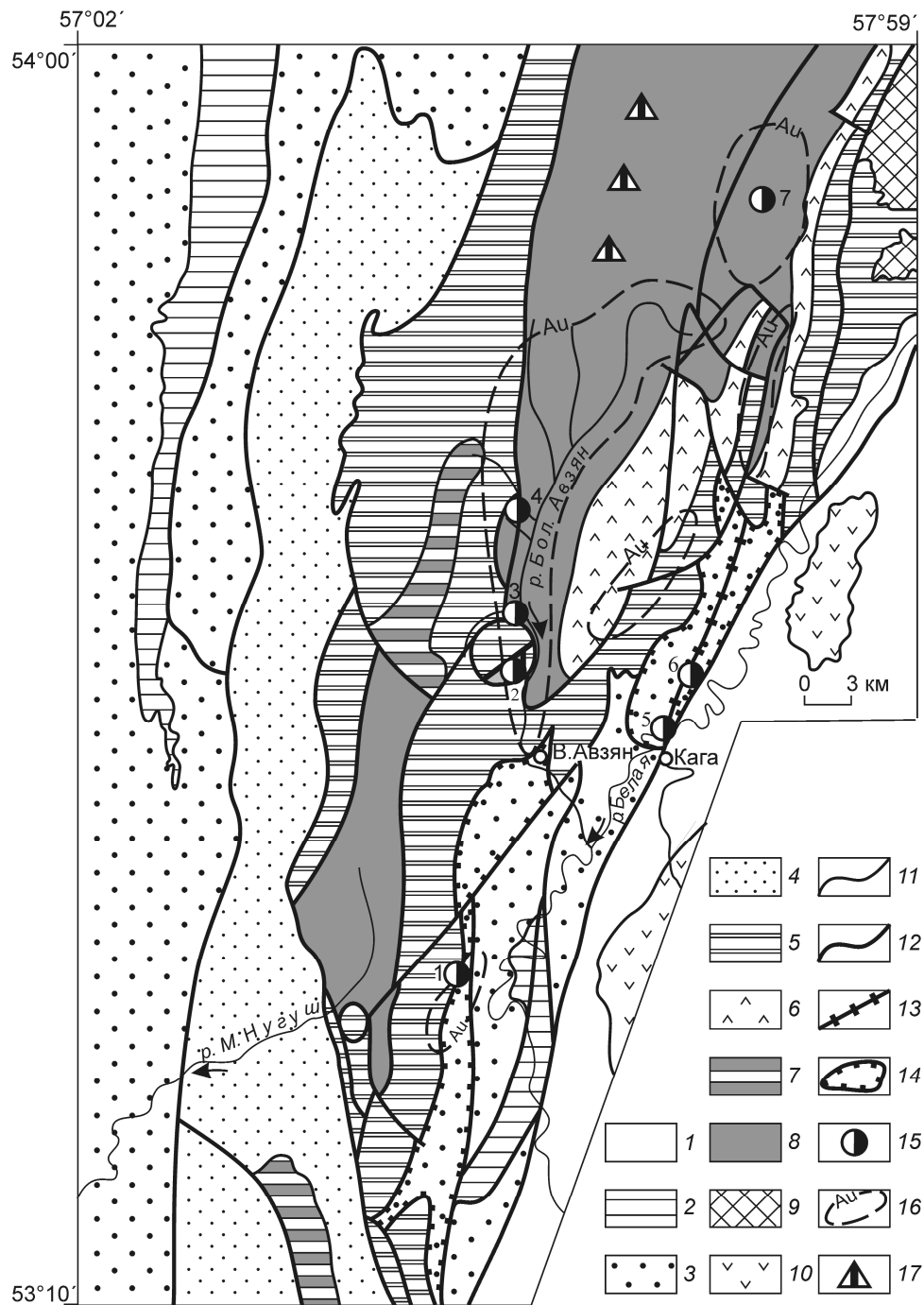


Рис. 1. Геологическое строение юго-восточного крыла Башкирского мегантиклинория:

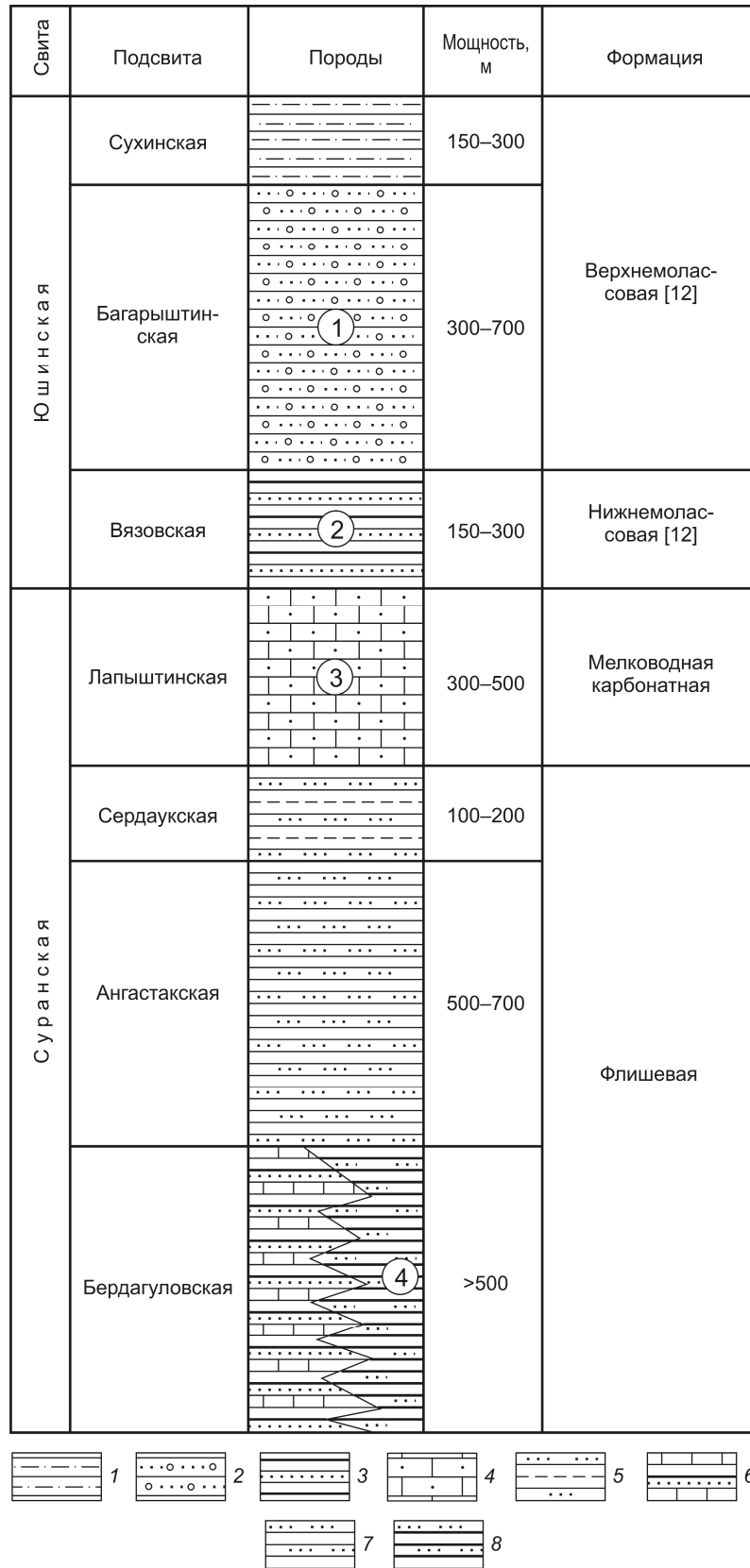
осадочные породы: 1 — палеозойские, 2 — вендские, 3 — неопротерозойские каратауской серии, 4 — неопротерозойские кужинской серии, 5 — среднерифейские юрматинской серии; 6 — среднерифейские вулканыты и осадочные породы машакской серии; 7 — нижнерифейские отложения платформенного типа (бакальская и кабаковская свиты); 8 — нижнерифейские отложения миогеосинклинального типа (суранская и юшинская свиты бурзянской серии); 9 — Белорецкий метаморфический комплекс; 10 — ультраосновные породы массивов Крака; 11 — стратиграфические границы и контакты осадочных пород с интрузиями; 12 — разрывные нарушения; 13 — рудоконтролирующие разломы; 14 — аллохтонные пластины пород каратауской серии на породах бурзянской и юрматинской серий; 15 — золоторудные объекты (1 — Куртмалинская россыпь, 2 — месторождение Горный Прииск, 3 — Багряжкинское, 4 — Улюк-Бар, 5 — Усть-Кагинское рудопроявление, 6 — россыпь Осиновый Лог, 7 — Ишлинская золото-серебряная аномалия); 16 — шлиховые ореолы золота; 17 — месторождения и рудопроявления флюорита

ние обманчиво, поскольку окружающие терригенные породы серии более углеродистые, черной окраски и в них развиты очень характерные «червячковые» текстуры [6], а в переслаивающихся песчаниках и глинистых сланцах рудовмещающего блока эти признаки отсутствуют.

Месторождение образовано серией кварцевых жил мощностью от 0,1 до 2,5 м и сопровождающимися их серицитовыми метасоматитами. Прослеженная протяженность рудоносной зоны по простиранию не превышает 200 м. Распределение золота в жилах неравномерное, кустовое, содержание Au от 0,1 до 28–30 г/т. Наибольший практический интерес представляют тела метасоматитов мощностью до 5 м с содержанием Au до 5 г/т. Такие концентрации зафиксированы в рудных телах около поверхности и до глубины 34 м. Глубже мощность рудных тел и содержание в них золота значительно уменьшаются. Все рудные тела и вмещающие породы на участке месторождения подвержены выветриванию, и суль-

**Рис. 2. Формационная колонка миегосинклинальных отложений бурзянской серии [10]:**

1 — неравномерное переслаивание мелкозернистых песчаников, алевролитов и глинистых сланцев; 2 — бимодальные песчаники с пропластками глинистых сланцев и алевролитов; 3 — сланцы углисто-глинистые и глинисто-кварц-карбонатные с прослоями алевролитов и песчаников; 4 — доломиты и известняки с примесью терригенного материала и брекчиями размыва; 5 — предположительно субфлишевые отложения: преимущественно тонкое переслаивание алевролитов, глинистых и углисто-глинистых сланцев; 6 — трехэлементный флиш; тонкоритмично-слоистые карбонатсодержащие алевроитоглинистые породы субфлишевой фации; 7 — безуглеродистые, 8 — углеродистые; цифры в кружках — рудопроявления (1 — Улюк-Бар, 2 — Горный Прииск, 3 — Багряжгинское, 4 — Ишлинская аномалия)



фидные минералы в них окислены. Глубина развития коры выветривания превышает 160 м. В тенях давления около псевдоморфоз лимонита по пириту развит стebelчатый кварц. За период эксплуатации на месторождении добыто около 200 кг золота, оставшиеся запасы не превышают 1 т.

Багряжкинское рудопоявление расположено в 4 км к северу от месторождения Горный Прииск на правом берегу р. Багряжка (правый приток р. Большой Авзян). Скважинами колонкового бурения здесь вскрыты доломиты лапыштинской подсвиты суранской свиты бурзянской серии, превращенные в результате железисто-магнезиального метасоматоза в крупнокристаллическую брейнерит-анкеритовую породу с неравномерной вкрапленностью пирита, арсенопирита, халькопирита. В подчиненном количестве совместно с халькопиритом встречается блеклая руда. Протяженность зоны метасоматитов 300 м, мощность 60–70 м. В монофракциях пирита содержание Au высокое, до 150 г/т. Но из-за незначительного количества пирита в метасоматитах (не более 1 мас. %) содержание Au в них редко превышает 1 г/т. Наиболее высокое содержание Au 3,4 г/т обнаружено в кровле метасоматитов в 0,5-метровом интервале с обильными прожилками халькопирита.

Рудопоявление Улюк-Бар находится в 8,3 км к северу от Багряжкинского на водоразделе правых притоков р. Большой Авзян — руч. Большой Ключ и р. Кургашля. Вмещающие породы относятся нами к багарыштинской подсвите юшинской свиты бурзянской серии. По отношению к рудовмещающим породам Багряжкинского рудопоявления они залегают стратиграфически выше.

Золоторудная зона локализована в крутопадающем пласте полевошпат-кварцевого песчаника мощностью около 60 м, наиболее полно вскрытого скв. 7807. В пласте встречены 22 кварцевых жилы лестничного типа мощностью от 0,1 до 1,2 м и ряд более мелких кварцевых прожилков. Кварц занимает в жилах 80–90% объема, остальное — доломит, кальцит. Наблюдается также редкая вкрапленность пирита, халькопирита, арсенопирита. В зальбандах некоторых кварцевых жил в зонах шириной до 5 см арсенопирит образует густую вкрапленность кристаллов размером 4–6 мм. В этих зонах присутствуют также пирит, блеклая руда, галенит и самородное золото. В одной из кварцевых жил на глубине 223,2 м обнаружено гнездо мелких (до 5 мм) самородков золота в ассоциации с названными выше сульфидами. Проба золота 870–960‰. В ритмично переслаивающихся глинистых сланцах, алевролитах и песчаниках висячего бока золоторудной зоны распространена вкрапленность пирита и пирротит-

на. Здесь также обнаружено аномальное содержание Ag от 4–6 до 10–30 г/т.

В приведенной выше характеристике трех рудопоявлений северного участка Западной зоны можно видеть отчетливо выраженное изменение типа оруденения в зависимости от его положения в стратиграфическом разрезе. В самой верхней сохранившейся части разреза бурзянской серии, в песчаниках багарыштинской подсвиты, локализовано золото-кварцевое рудопоявление Улюк-Бар, в самой нижней — в метасоматически измененных карбонатных породах лапыштинской подсвиты — золото-сульфидное Багряжкинское. Золото-кварц-сульфидное месторождение Горный Прииск занимает промежуточное положение в разрезе. Это свидетельствует о том, что золотое оруденение данного участка образовалось в относительно слабо дислоцированной осадочной толще, и большинство разрывных нарушений здесь пострудные. Сильная тектоническая раздробленность участка вызвана тем, что он расположен во фронтальной части миогеосинклинального террейна, надвинутой с востока в результате позднепалеозойских дислокаций герцинского орогенеза на породы юрматинской серии. Породы надвинутой части террейна при этом разрушились на мелкие блоки. Признаки их аллохтонного залегания установлены к северу от месторождения Горный Прииск в районе горы Калашниковой и в верховьях р. Малый Нугуш (высота 694 м). На этих двух участках диапировидные тела из легких и пластичных пород юрматинской серии (зигальгинской и зигазино-комаровской свит) пронизывают снизу надвинутые породы миогеосинклинальной серии.

Описание золотопоявлений Восточной зоны АЗР также начинаем с юга с Усть-Кагинского рудопоявления. Оно расположено на правом берегу р. Белая напротив устья р. Кага (рис. 3). Рядом сохранились эфеля — следы старой старательской разработки. Выход тектонического контакта песчаников инзерской и глинистых известняков катавской свит (обе свиты относятся к каратауской серии) здесь сопровождается полоса кварцевых жил шириной около 100 м. Мощность жил до нескольких дециметров. В них наблюдается редкая вкрапленность галенита и халькопирита. Песчаники в зальбандах жил серицитизированы, осветлены и содержат вкрапленность окисленного золотосодержащего пирита. Пробирный анализ его монофракции показал содержание Au 1,6 г/т, Ag 12,3 г/т. В элювированном выходе кварцево-жильной полосы в породе, состоящей из мелких обломков кварца и песчано-глинистого материала, в 20-литровой шлиховой пробе обнаружено 38 знаков золота в виде

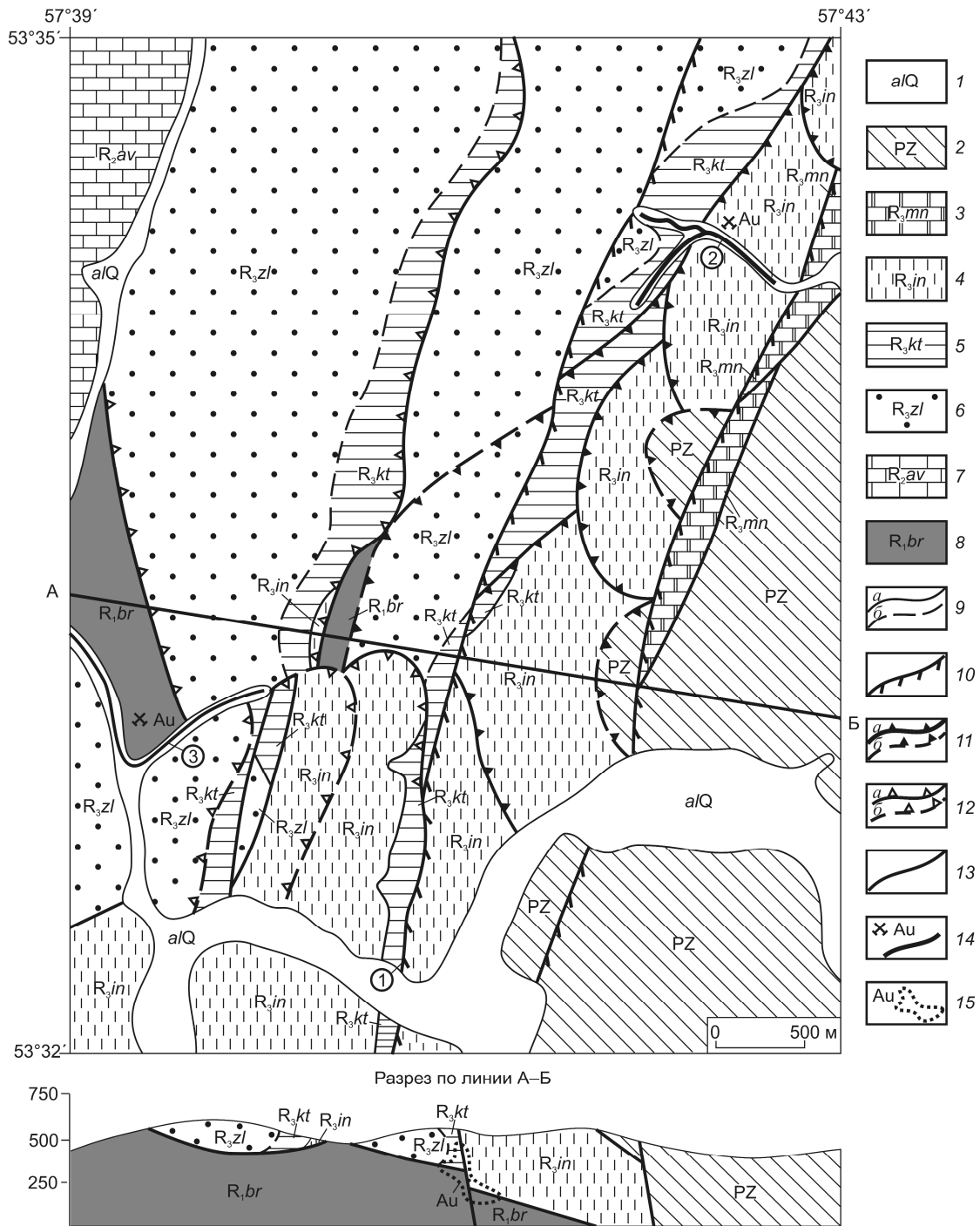


Рис. 3. Геологический план правобережья р. Белая у пос. Кага [11]:

1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — палеозойские отложения нерасчлененные: сланцы глинистые, песчаники, конгломераты, доломиты, известняки; отложения карагауской серии; 3 — доломиты миньярской свиты, 4 — песчаники, алевролиты инзерской свиты, 5 — известняки, кварц-карбонатные сланцы катавской свиты, 6 — песчаники, алевролиты, серицит-хлорит-глинистые сланцы зильмердакской свиты; 7 — известняки, доломиты, глинистые сланцы авзянской свиты юрматинской серии; 8 — песчаники, алевролиты, углисто-карбонат-кварцево-глинистые сланцы бурзянской серии; 9 — стратиграфические границы (а — установленные, б — предполагаемые); 10 — палеозойские сбросо-сдвиги; 11 — палеозойские надвиги (а — установленные, б — предполагаемые); 12 — шарьяжи и надвиги байкальского тектонического цикла (а — установленные, б — предполагаемые); 13 — разрывные нарушения не установленных характера и возраста (на плане); 14 — разработанные россыпи золота; 15 — предполагаемое положение в разрезе коренного золотого оруденения; цифры в кружках: 1 — Усть-Кагинское рудопоявление, 2 — россыпь Осинный Лог, 3 — Ирлинская россыпь

зерен неправильной, уплощенной, крючковидной, реже проволочной, дендрито- и почковидной форм. Размер зерен от  $0,05 \times 0,05$  до  $0,125 \times 0,225$ , чаще  $0,05 \times 0,075$  мм. Цвет золотисто-желтый с красноватым оттенком, как у высокопробного золота Улюк-Бара. Электромагнитная фракция шлиха массой 26,7 г на 40% состоит из свежего пироксена, что говорит о присутствии на участке золотопроявления сравнительно молодых жильных пород основного состава.

Россыпь Осиновый Лог находится в 4 км к северо-северо-востоку от Усть-Кагинского рудопроявления и в 1,7 км к западу от русла р. Белая (см. рис. 3). На поверхности почвы между обоими рудопроявлениями около выхода рудоконтролирующего разлома встречаются обломки кварца и серицитизированных лиловатых известняков катавской свиты. В отдельных пробах почвы здесь также обнаружено аномальное содержание золота. Это позволяет рассматривать оба проявления в качестве участков одной протяженной золотоносной зоны. Наиболее значительные находки золота в ней сосредоточены в гипсометрически пониженных участках, в которых золотопродуктивные породы миогеосинклинали автохтона залегают очень близко к поверхности. Вполне вероятно, что в ложе россыпи Осиновый Лог они уже вскрыты эрозией, что произошло на участке соседней Ирлинской россыпи, расположенной в 1 км к западу от рудоконтролирующего разлома и поэтому относительно бедной. Но сочетание ряда благоприятных факторов — экранирующая роль аллохтона, максимальное приближение к рудоконтролирующему разлому и золотопродуктивным породам автохтона — сделало россыпь Осинового Лога самой богатой в АЗР. Архивные материалы Миндякского рудоуправления упоминают о найденных в Осиновом Логу самородках массой от 10 до 200 г и о том, что в отдельных шурфах содержание Au в песках составляло  $50 \text{ г/м}^3$ , а в сланцах плотика — от 2,1 до 16,4 г/т.

Ишлинская аномалия в 35 км к северу от россыпи Осиновый Лог прослежена на 7 км от правого берега р. Большой Инзер до южной окраины пос. Ишля при ширине до 0,6 км. Первоначально, в 1978 г., она была выявлена по повышенному содержанию серебра, установленному пробирным анализом в Центральной лаборатории Башкирского территориального геологического управления. Аномалия приурочена к переслаивающимся углесто-алеврито-глинистым сланцам, алевролитам и глинистым известнякам субфлишевой фации бердагуловской подсвиты, брекчированным и с прожилками кварца. В сланцах имеются характер-

ные обохренные продолговатые пустотки, соответствующие по форме и размерам выделениям пирротина на рудопроявлении Улюк-Бар. Более детально изучена южная часть аномалии в 0,5 км к югу от пос. Ишля. Здесь в штучных пробах из сланцев и алевролитов, взятых в придорожной выемке на участке площадью в несколько квадратных метров, определено содержание: Au до 0,1 г/т (пробирный метод, лаборатория Березовского РУ), Ag до 9,7 г/т, As до 0,01, Bi до 0,0011, Cr до 0,09, Cu до 0,016, Zn до 0,015% (метод ИСП, лаборатория ИГиГ РАН, г. Екатеринбург), Pb до 0,45,  $\text{K}_2\text{O}$  0,96,  $\text{Na}_2\text{O}$  0,15% (рентгенофлюоресцентный метод, лаборатория ОАО «Уралмеханобр»).

Аномальное содержание Ag и Pb свидетельствует о надрудном характере Ишлинской аномалии по отношению к не вскрытому золото-сульфидному оруденению. Высокое содержание  $\text{K}_2\text{O}$  и Bi указывает на вероятную связь этого оруденения с орогенными гранитами вендского возраста. А высокое содержание Cr, как и присутствие большого количества пироксена в шлиховой пробе с Усть-Кагинского рудопроявления, подтверждает вывод [5] об активизации вендского золотого оруденения АЗР при внедрении среднепалеозойских даек диабазов по тем же долгоживущим рудоконтролирующим глубинным разломам, о которых говорилось выше. Одним из результатов активизации было рафинирование золота от примесей, что привело к образованию высокопробного золота на некоторых рудопроявлениях.

Сильная тектоническая раздробленность Западной зоны АЗР, несомненно, способствовала формированию россыпей в бассейне р. Большой Авзян, но, на наш взгляд, сделала ее менее благоприятной для сохранения крупномасштабного оруденения в коренных породах. Поэтому на рудное золото более перспективна слабо изученная Восточная зона, расположенная во внутренней части миогеосинклинали террейна и менее эродированная. На первый план в ней выступают два объекта: породы бурзянской серии с вероятным золото-кварц-сульфидным оруденением в ложе россыпи Осиновый Лог и Ишлинская аномалия. Надрудный характер этой поверхностной аномалии в черносланцевых породах бурзянской серии позволяет рассчитывать на обнаружение золото-сульфидного оруденения на более глубоких горизонтах. Экранирующая роль пород аллохтона в пределах Куртмалинской россыпи может также оказаться благоприятным фактором для выявления крупномасштабного оруденения в породах черносланцевого миогеосинклинали автохтона. В нашем списке рекомендаций отсутствует участок Усть-



Кагинского рудопроявления, поскольку он находится в водоохранной зоне р. Белая.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В.А. Критерии поисков золотого оруденения метаморфогенно-гидротермального типа // Советская геология. 1975. № 10. С. 35–48.
2. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. — М.: Наука, 1974.
3. Меньшиков В.Г. История золотодобычи в Республике Башкортостан // Геологическая служба и горное дело Башкортостана на рубеже веков. Уфа, 2000. С. 298–304.
4. Меньшиков В.Г. Сырьевая база золотодобычи Республики Башкортостан и перспективы ее развития // Геологическая служба и горное дело Башкортостана на рубеже веков. Уфа, 2000. С. 305–312.
5. Сазонов В.Н., Коротеев В.А. Основные золотопродуктивные и сопутствующие метасоматические формации Урала. — Екатеринбург: УрО РАН, 2009.
6. Филиппов В.А. Паралическая сидеритоносная и фосфоритоносная формация докембрия западного склона Южного Урала // ДАН СССР. 1983. Т. 268. № 1. С. 8–162.
7. Филиппов В.А. Формационные комплексы Башкирского мегантиклинория и их металлогения // ДАН СССР. 1983. Т. 274. № 4. С. 935–938.
8. Филиппов В.А. Оценка распределения элементов-примесей в пирите из рудных полей Урала // Геология и металлогения Урала. Екатеринбург, 2000. С. 171–183.
9. Филиппов В.А. Перспективы выявления осадочных месторождений меди в верхнерифейских отложениях западного склона Южного Урала // Руды и металлы. 2009. № 2. С. 23–27.
10. Филиппов В.А. Бердагуловский флиш и другие признаки коллизионной структуры в нижнерифейских отложениях западного склона Южного Урала // Отечественная геология. 2011. № 2. С. 59–63.
11. Филиппов В.А. Кужинская серия в тектонических структурах западного склона Южного Урала // Отечественная геология. 2013. № 4. С. 24–31.
12. Хаин В.Е. О некоторых основных понятиях в учении о фациях и формациях // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1950. Т. XXV. Вып. 6. С. 3–28.

УДК 553.491.8 (470.55/.57)

© Коллектив авторов, 2014

## ПЛАТИНОМЕТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В УЛЬТРАМАФИТАХ МАССИВА СРЕДНИЙ КРАКА, ЮЖНЫЙ УРАЛ

Д.Е.Савельев (ИГ УНЦ РАН), Е.В.Белогуб, В.В.Зайков (ИМин УрО РАН), В.И.Сначев (ИГ УНЦ РАН), В.А.Котляров, И.А.Блинов (ИМин УрО РАН)

*Охарактеризованы проявления платинометальной минерализации на массивах Крака, связанные с небольшими телами железистых хромититов в клинопироксенитах габброидного комплекса. Минералы металлов платиновой группы представлены тетраферроплатиной, железистым бреггитом, плюмбопалладином, лауритом и эрликманитом. Обоснована перспективность юго-западной части массива Средний Крака на благороднометальное оруденение.*

*Ключевые слова:* Крака, клинопироксениты, верлиты, ультрамафиты, офиолиты, хромититы, платина, палладий, лаурит, эрликманит.

*Савельев Дмитрий Евгеньевич, sav171@mail.ru, Белогуб Елена Витальевна, bel@mineralogy.ru, Зайков Виктор Владимирович, zaykov@mineralogy.ru, Сначев Владимир Иванович, SAVant@inbox.ru, Котляров Василий Алексеевич, kotlyarov@mineralogy.ru, Блинов Иван Александрович, mohauk@mail.ru*

## PGE MINERALIZATION IN THE ULTRAMAFIC ROCKS OF SREDNY-KRAKA MASSIF, SOUTH URALS

D.E.Saveliev, E.V.Belogub, V.V.Zaykov, V.I.Snachev, V.A.Kotlyarov, I.A.Blinov

*Occurrences of PGE mineralization in ultramafic rocks of Kraka ophiolite massifs are described. PGE minerals occur in small bodies of Fe-chromitites hosted by clinopyroxenites of gabbroid complex. Tetraferroplatinum, braggite, plumbopalladinite, laurite, and erlichmanite present the PGE minerals. Prospectivity of the Kraka massifs as PGE objects are substantiated.*

*Key words:* Kraka, clinopyroxenite, werlite, ultramafic rock, ophiolite, chromitite, platinum, palladium, laurite, erlichmanite.

Изучение платиноносности офиолитовых ультрамафитов Южного Урала началось в 60-е годы прошлого столетия [16] и затем спорадически проводилось производственными организациями до

конца 80-х годов (Е.А.Шумихин и др., 1987 г.). Существенных положительных результатов при этом получено не было. Наиболее активно благороднометальную минерализацию ультраосновных массивов

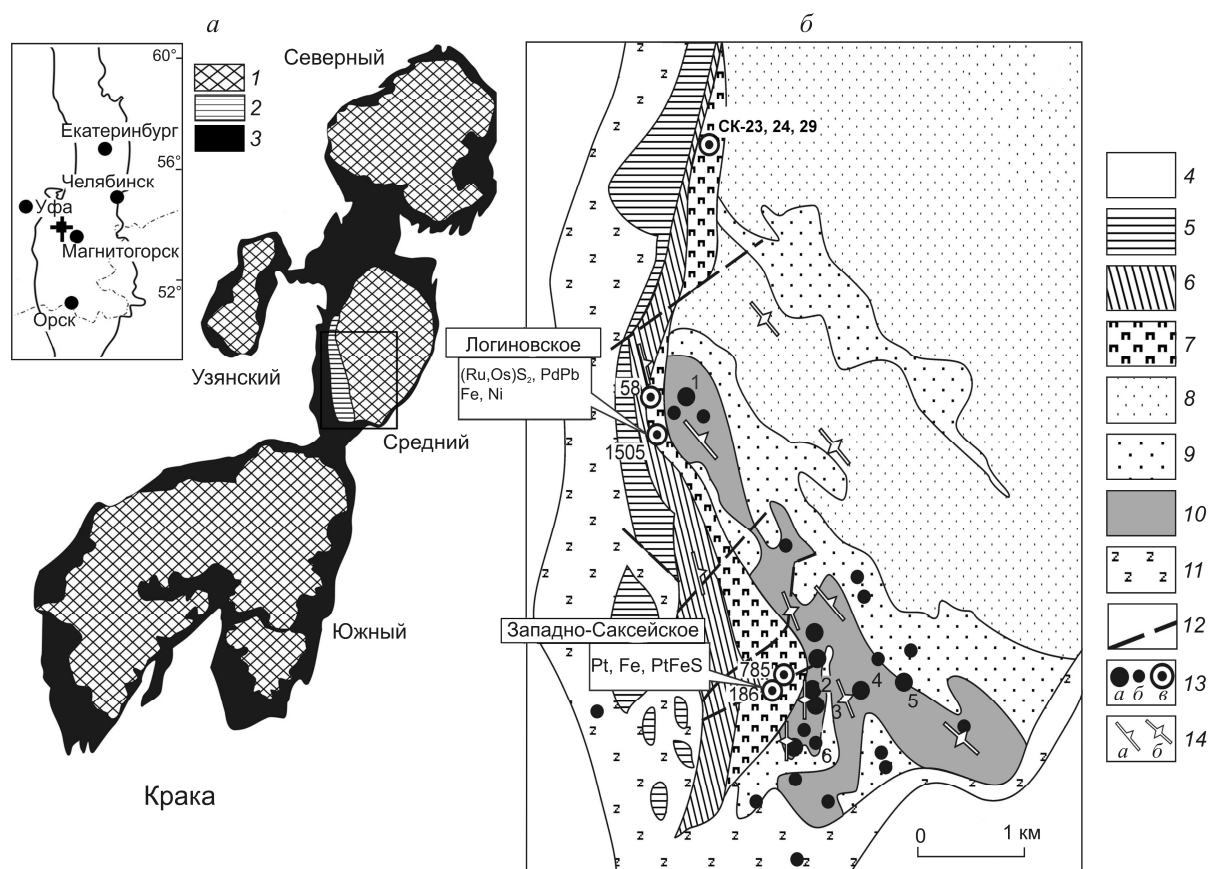


Рис. 1. Обзорная схема геологического строения массивов Крака (а), геологическое строение юго-западной части массива Средний Крака (б):

1 — породы ультрабазитового комплекса (лерцолиты, гарцбургиты, дуниты); 2 — породы габброидного комплекса (верлиты, клинопироксениты, габбро); 3 — серпентиниты; 4 — вмещающие осадочные породы; *габброидный комплекс*: 5 — габбро, габбро-диориты, габбро-диабазы с однородной текстурой, 6 — габбро роговообманковое гнейсовидное, 7 — верлиты и клинопироксениты; *ультрабазитовый комплекс*: 8 — лерцолиты и гарцбургиты, 9 — дунит-гарцбургитовый комплекс (30–70% дунитов), 10 — преимущественно дуниты (более 70%); 11 — серпентиниты хризотилвые; 12 — разрывные нарушения; 13 — *хромитопоявления* (а — месторождения и рудопоявления, их номера — 1 — Ключевское, 2 — Правый Саксей, 3 — № 1108, 4 — Левый Саксей, 5 — Шатран, 6 — Акбура; б — мелкие рудопоявления и точки минерализации; в — положение изученных образцов); 14 — залегание первичной полосчатости (а — наклонное, б — вертикальное); СК — Саксей-Ключевская площадь

вов Южного Урала начали изучать с 90-х годов [2–4, 6, 12–14]. В это время установлена платиноносность полосчатого комплекса Нуралинского массива, в пределах которого были выявлены Западно-Шерамбайское и Приозерное рудопоявления [11]. На массивах Крака основное внимание уделялось потенциальной платиноносности месторождений и рудопоявлений хрома, залегающих среди дунитов и краевых серпентинитов. В рудах отдельных объектов Хамитовской площади массива Средний Крака были определены высокие концентрации Pt до 3,2–5,4 г/т [5, 14]. Вместе с тем, отдельные высокие значения содержания металла были единичны, преобладали низкие. Закономерности распределе-

ния элементов платиновой группы и собственные минералы платиноидов установлены не были.

Следует отметить, что в работах Ю.А.Волченко с соавторами [1, 7, 8 и др.] выделяется «кракинский тип» платинометальной минерализации, характеризующийся субхондритовым распределением ЭПГ. Из минералов металлов платиновой группы упоминаются многокомпонентные твердые растворы и интерметаллиды тугоплавких платиноидов и платины, а также сульфиды и сульфоарсениды этих элементов с примесями железа и никеля [7]. К сожалению, в работах не указываются конкретные места находок, а приуроченность их к лерцолит-гарцбургитовому разрезу с резко подчиненным раз-

витиём дунитов позволяет ассоциировать данный тип с реститовым комплексом.

Авторами рассмотрена платиноносность габброидного комплекса западного фланга массива Средний Крака (рис. 1). Содержания элементов платиновой группы и золота в хромовых рудах и ультрамафитах определялись атомно-абсорбционным методом в лаборатории спектрального анализа ИГЕМ (зав. лабораторией В.В.Дистлер). Чувствительность анализа составила для Au, Ru, Ir — 50, Rh — 5–20, Pt — 10, Pd — 5 мг/т. Определение содержания Os не проводилось. Минералы благородных металлов исследовались в Институте минералогии УрО РАН на поляризационных микроскопах Axioscope A1, Olympus BX50, их состав изучался на растровых электронных микроскопах РЭММА 202М и Vega 3 Tescan с энергодисперсионными анализаторами Link Oxford.

Массивы Крака (Северный, Узянский, Средний, Южный) расположены в северной части Зилаиро-Сакмарской зоны и занимают площадь ~900 км<sup>2</sup>. Средний Крака отличается от остальных массивов широким распространением габброидов и пироксенитов. Он имеет близкую к овалу форму, удлиненную в меридиональном направлении, размер 25×10 км (см. рис. 1). Массив состоит из двух комплексов — ультрабазитового (реститового) и габброидного (магматического). Первый занимает ~75% площади массива; в восточной части он сложен преимущественно лерцолитами и гарцбургитами, в юго-западной — дунитами, вмещающими ряд месторождений хромовых руд вкрапленного типа (Правый Саксей, Шатран, Ключевское и др.).

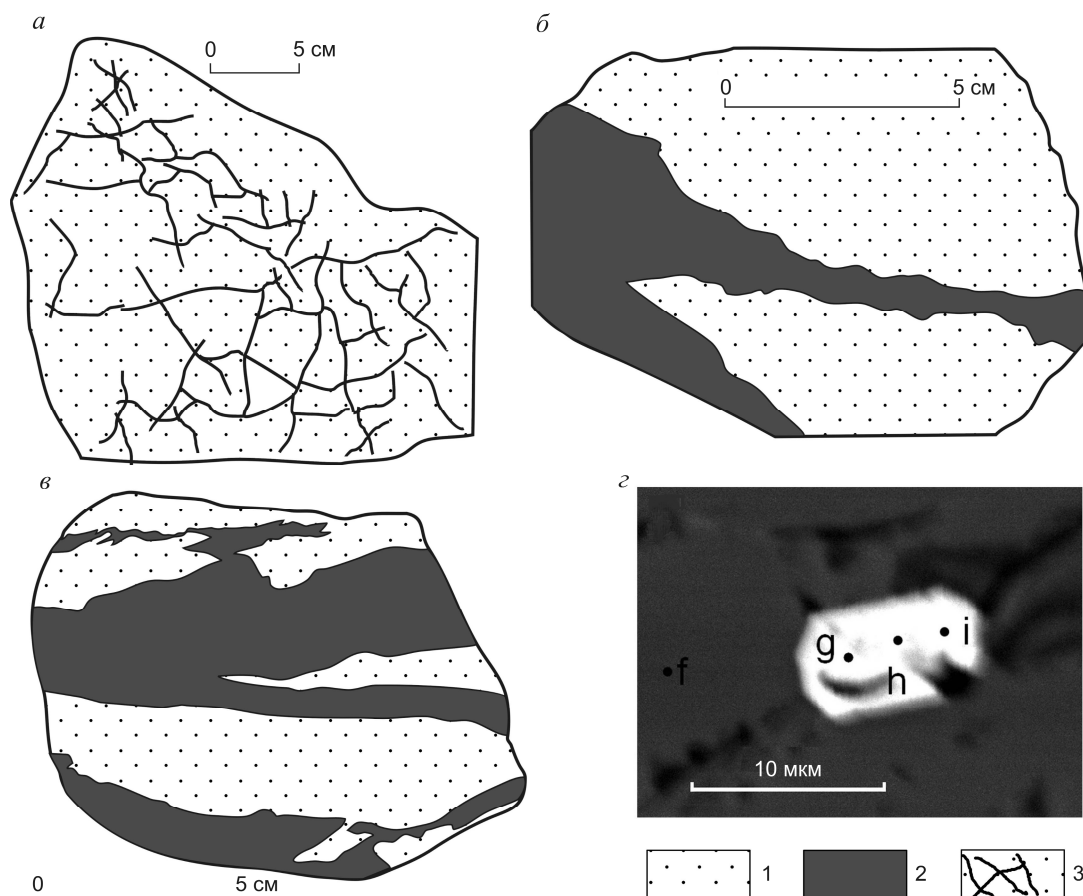
Габброидный комплекс примыкает к ультрабазитовому с запада, его разрез начинается верлитами и клинопироксенитами, которые сменяются меланократовыми гнейсовидными габбро и массивными среднезернистыми габбро и габбро-диоритами. Переход от ультрабазитового комплекса к габброидному наиболее хорошо выражен в районе месторождения Правый Саксей. С востока на запад в дунитах постепенно увеличивается количество и мощность клинопироксенитовых жил, секущих под острым углом хромититовую полосчатость. Клинопироксениты характеризуются порфирокластической структурой, мощность их прожилков изменяется от первых сантиметров на востоке до 0,3 м и более на западе. В этом же направлении происходит усложнение системы жил от однонаправленной (азимут простирания 300–320°) до ортогональной сети (азимут простирания 300–320° и 200–210°). Постепенно жилы сменяются телами шлирово-полосчатой текстуры, перемежающимися с дунитами и замещающими их по мере приближения к габброидам [10].

По-видимому, габброидный комплекс формировался на дунит-гарцбургитовом субстрате путем многочисленных инъекций расплава по сети трещин (в настоящее время они представлены пироксенитовыми жилами), затем происходили накопление базитового расплава и его внутрикамерная дифференциация [9]. Дуниты и гарцбургиты по отношению к габбро и породам полосчатого верлит-клинопироксенитового комплекса являлись пассивными вмещающими породами, а не дифференциатами расплава.

Западнее месторождения Правый Саксей доля пироксенитовых жил в дунитах возрастает, и они постепенно переходят в дифференцированный разрез полосчатого комплекса. В «нижней» (восточной) его части залегают те же порфиroidные клинопироксениты, которые чередуются с мелкозернистыми верлитами, рудными пироксенитами, серпентинитами. Далее через горнблендиты (мощность до 50 м) или серпентинит-родингитовую (метасоматическую) переходную зону отмечается переход к габбро. Габброиды представлены с востока на запад следующими разновидностями: мелкозернистое полосчатое меланогаббро (100–200 м); мелко-среднезернистое мезогаббро (50–100 м), здесь фиксируется уровень обогащения сульфидами; габбро-диабазы (50–150 м); однородное средне-крупнозернистое мезо- и лейкократовое габбро, диориты, дайки базальтоидов и гранитоидов (0–250 м). Полосчатость и минеральная сланцеватость в меланократовых габброидах и породах верлит-пироксенитового комплекса имеет субвертикальное падение (азимут падения 80–130°,  $\angle 70$ –80°).

Западно-Саксейское рудопроявление (точка СК-186) расположено в верховьях небольшого лога — притока ручья Черный Ключ, в 400 м западнее месторождения Правый Саксей и приурочено к оруденелым клинопироксенитам, залегающим в основании габброидного комплекса [9, 15]. В районе рудопроявления преобладают зеленые мелкозернистые клинопироксениты с порфирокластической структурой. Основной объем породы сложен крупными до 10 мм деформированными кристаллами диопсида, сцементированными агрегатом более мелких зерен того же минерала. В породах наблюдаются многочисленные тонкие прожилки (0,05–0,2 м) сплошных, реже густовкрапленных мелкозернистых (размер зерен 0,0л–0,1 мм) хромититов. Рудные прожилки являются более поздними по отношению к вмещающим их пироксенитам, иногда образуют штокверк или тонкую сетку в породе (рис. 2, а–в).

Образцы СК-186, СК-186-1, СК-186/3 и СК-186/4 отобраны из отвалов канав, пройденных при



**Рис. 2. Железистые хромититы Западно-Саксейского рудопоявления:**

*a* — штокверк хромититов в порфирокластических крупнозернистых клинопироксенитах; *б, в* — жилкообразные выделения сплошных мелкозернистых хромититов (черное) с клинопироксенитами; *г* — кристалл тетраферроплатины в хромите (см. табл. 2)

поисковых работах на хромовые руды предположительно в 30-е годы. Атомно-абсорбционным анализом в пробах хромитит-клинопироксенитового состава и массивных хромититах установлены высокие концентрации платиноидов при среднем значении их суммы 1,55 г/т (табл. 1). Среди платиноидов наиболее высокие концентрации у Pt, затем следует Pd, ниже концентрации Rh и Ru. В целом геохимическая платинометальная специализация характеризуется преобладанием легкоплавкой ассоциации элементов и может быть отнесена к палладий-платиновому типу.

Изучение образцов хромититов и оруденелых клинопироксенитов показало, что аксессуарная платинометальная минерализация, хотя и связана пространственно с прожилками железистых хромититов, чаще отмечается в нерудных участках возле агрегатов хромшпинелидов.

В хромите обр. СК-186-1 обнаружено несколько зерен платиноидов: кристалл тетраферроплатины с

элементами скелетного роста (см. рис. 2, *г*) и вытянутые групповые обособления. Кристалл тетраферроплатины характеризуется постоянным составом, практически не изменяющимся от его периферии к центру (табл. 2, обр. 5–7). В этом же образце встречены три зерна вытянутой формы железистого брэггита (?) размером 6–10 мкм. Их состав отличается значительными вариациями элементов (см. табл. 2, обр. 1–4). В образце СК-186 выявлен овальный нодуль миллерита с точечным выделением палладийсодержащего минерала. В пробах-протоколках из оруденелых клинопироксенитов рудопоявления Западно-Саксейское выделено самородное золото (И.Илалтдинов, устное сообщение). Кроме того, в некоторых образцах клинопироксенитов габброидного комплекса вблизи Западно-Саксейского проявления (обр. СК-785) зафиксированы высокие концентрации Au (2 г/т) при повышенных содержаниях Pt (0,2 г/т) и Pd (0,32 г/т) (см. табл. 1). Рудная минерализация в изученном образце клино-

**1. Содержание элементов платиновой группы и золота в породах габброидного комплекса и хромититах массива Средний Крака, г/т**

№№ п/п	№ обр.	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Au	Сумма
1	СК-99-186/4	<b>0,53</b>	<b>0,13</b>	<b>0,03</b>	<0,05	<b>0,03</b>	н/о	<b>0,72</b>
2	СК-99-186/3	<b>1,64</b>	<b>0,47</b>	<b>0,11</b>	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>		<b>2,39</b>
3	СК-98-23/2	<b>0,14</b>	<b>0,76</b>	<0,005	<0,005	<0,005	н/о	<b>0,90</b>
4	СК-785	<b>0,20</b>	<b>0,32</b>					<b>2,00</b>
5	СК-98-58/3	0,01	0,02				н/о	0,03
6	СК-98-29	0,04	0,10	<0,1	н/о	н/о	н/о	0,14
7	СК-98-24/3	<b>0,18</b>	<b>0,53</b>				<b>0,44</b>	<b>0,62</b>
8	СК-98-24/5	0,01					<b>0,54</b>	
9	СК-1505/1	<0,04					0,04	0,04
10	СК-1505/2	0,06	0,03	0,09				
11	ПС (n=12)	<0,01	0,09	<0,005	<0,05	<0,05	0,07	0,16

Примечание. Анализы 1–2 — клинопироксениты и железистые хромититы рудопоявления Западно-Саксейское; 3–8 — ультрамафиты основания габброидного комплекса (3–4 — клинопироксениты, 5–8 — серпентинизированные верлиты и клинопироксенитсодержащие дуниты); 9–10 — рудопоявление железистых хромититов Логиновское (9 — клинопироксенит, 10 — хромитит); 11 — средние содержания ЭПГ и Au в хромовых рудах из дунитов ультрабазитового комплекса (Правосаксейская и Шатранская рудоносные зоны); н/о — содержание не определялось.

пироксенита представлена ксеноморфными выделениями кобальтистого пентландита, халькопирита и борнита (табл. 3) с развивающимися по ним вторичными халькозином, ковеллином, акантитом (подтвержден энергодисперсионным спектром) и гидроксидами железа. Форма выделений борнита указывает на его возможное гипогенное происхождение. Сульфидная минерализация ассоциирует с мельчайшими выделениями барита, также приуроченными к интерстициям породообразующего клинопироксена. В последнем в качестве сингенетичного включения присутствует идиоморфный кристалл хизлеудита (см. табл. 3, ан. 2). Рассматриваемый участок находится в бассейне руч. Черный Ключ, в аллювии которого известны находки россыпного золота (В.И.Сначев и др., 2000 г.). Приведенные факты создают предпосылки для положительной оценки перспектив юго-западной части массива Средний Крака на благороднометальное оруденение.

Сопоставление пород и руд Западно-Саксейского проявления с хромититами месторождений и рудопоявлений Правосаксейской и Шатранской рудоносных зон, расположенных восточнее и приуроченных к дунитам ультрабазитового (реститового) комплекса, показало их значительное различие. Во-первых, в рудах указанных объектов не обнаружено значимых содержаний ЭПГ (см. табл. 1), во-вторых, состав рудообразующих хромшпинелидов и вмещающих оруденение пород различен. В дунитах и ассоциирующих с ними хромититах развиты высокохромистые шпинели с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  52–58,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  8,6–11,7%,  $\Sigma\text{FeO}$  18–24%. В хромити-

товых жилах Западно-Саксейского рудопоявления состав шпинелидов следующий:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  36,5,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  11,84%,  $\Sigma\text{FeO}$  44,5%. На треугольной диаграмме в координатах Al – Cr –  $\text{Fe}^{+3}$  точки составов шпинелей из рассматриваемых объектов резко разделены [10]. В то же время, близким составом к западно-саксейским характеризуются шпинелиды из клинопироксеновых дунитов и верлитов габброидного комплекса массива Средний Крака.

Другое проявление железистых хромититов, подобное Западно-Саксейскому, расположено к западу от Ключевского рудопоявления (Е.А.Шумихин, В.В.Радченко, 1979 г.). Оно также приурочено к ультрамафитовой части габброидного комплекса массива Средний Крака (см. рис. 1). На данном проявлении канавами вскрыты порфирокластические клинопироксениты, содержащие параллельные прожилки хромититов мощностью первые сантиметры. Предположительно данное проявление обнаружено в 30-е годы при поисковых работах на хромовые руды. Поскольку впервые хромитопоявления, локализованные среди клинопироксенитов, упоминаются в отчете В.П.Логинова (1933 г.), это проявление было названо нами «Логиновским». В образцах клинопироксенитов (СК-1505/1) и хромититов (СК-1505/2), отобранных на Логиновском рудопоявлении, значимые содержания платиноидов практически не установлены. Лишь в образце СК-1505/2 содержание Pt 0,06 г/т.

Оптико- и электронно-микроскопическое изучение образцов позволило выявить собственные минералы Ru, Os, Pd и природный сплав Ni и Fe, близкий к авариту (рис. 3). Минералы изоморфно-

## 2. Состав минералов платиновой группы по пяти аншлифам из образцов Западно-Саксеекого рудопроявления, мас. %

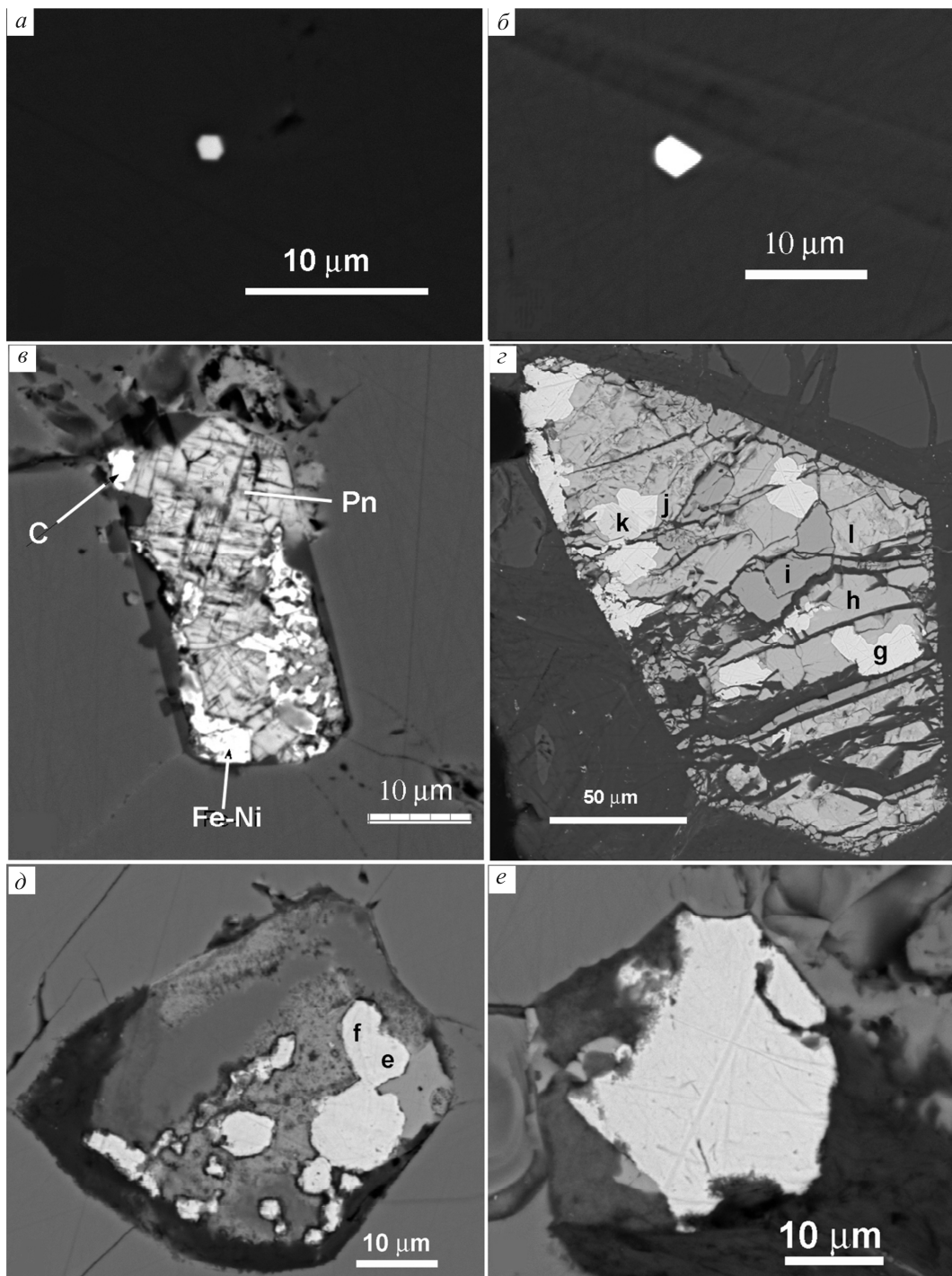
№№ п/п	№ аншлифа	Rh	Pt	Pd	Fe	Ni	Cu	S	Сумма	Кристаллохимическая формула	Минерал
1	СК 186-1		62,59	2,99	15,04	0,39	2,39	16,6	100,00	$Rt_{0,62}Fe_{0,52}Cu_{0,07}Pd_{0,05}Ni_{0,01}S_{1,00}$	Железистый брэггит
2	СК 186-1-2		50,06	5,17	31,35	1,00	3,11	9,32	100,01	$Fe_{1,93}Pt_{0,88}Cu_{0,17}Pd_{0,17}Ni_{0,06}S_{1,00}$	Железистый брэггит?
3	СК 186-1-3	-	58,81	2,24	16,77	0,46	1,65	20,07	100,00	$Pt_{0,48}Fe_{0,48}Cu_{0,04}Pd_{0,03}Ni_{0,01}S_{1,00}$	Железистый брэггит?
4	СК 186-1-4		57,88	5,48	19,44	0,45	3,09	13,66	100,00	$Fe_{0,82}Pt_{0,70}Pd_{0,12}Cu_{0,11}Ni_{0,05}S_{1,00}$	Тетраферроплагина
5	СК 186-1-5	1,35	76,98		21,06	0,34	0,27		98,65	$Pt_{0,49}Fe_{0,48}Rh_{0,01}Ni_{0,01}Cu_{0,01}$	Железистый брэггит?
6	То же	1,11	76,73		21,09	0,58	0,49		98,89	$Pt_{0,62}Fe_{0,52}Cu_{0,07}Pd_{0,05}Ni_{0,01}S_{1,00}$	Железистый брэггит?
7	То же	1,05	76,49		21,59	0,55	0,32		98,95	$Fe_{1,93}Pt_{0,88}Cu_{0,17}Pd_{0,17}Ni_{0,06}S_{1,00}$	
	Среднее 5-7	1,17	76,73		21,25	0,49	0,36		98,83		

Примечание. Анализы выполнены В.А.Котляровым в Институте минералогии УрО РАН, СЭМ РЭММА 202М. Проверк — элемент не обнаружен.

## 3. Состав сульфидов в клинопироксените Западно-Саксеекого проявления, обр. СК-785, мас. %

№№ п/п	S	Fe	Cu	Ag	Co	Ni	Сумма	Кристаллохимическая формула	Минерал
1	33,37	35,49	-		1,08	30,06	100,00	$(Ni_{1,94}Co_{0,14}Fe_{4,88}S_{8,96})S_{8,00}$	Пентландит
2	27	1,72	0,95			69,38	99,05	$(Ni_{2,81}Fe_{0,07}Cu_{0,04})_{2,92}S_{2,00}$	Хизлевудит
3	25,07	10,62	64,31				100,00	$Cu_{5,18}Fe_{0,97}S_{4,00}$	Борнит, слабо замещенный халькозином
4	22,17	2,24	75,59				100,00	$(Cu_{1,72}Fe_{0,66})_{1,78}S_{1,00}$	Халькозин + ковеллин
5	22,04	0,34	77,62				100,00	$(Cu_{1,78}Fe_{0,01})_{1,79}S_{1,00}$	То же
6	28,37	4,5	64,3		0,46	2,37	100,00	$(Cu_{1,14}Fe_{0,09}Co_{0,01})_{1,29}S_{1,00}$	"
7	32,4	0,25	66,85	0,5			100,00	$Cu_{1,04}S_{1,00}$	Ковеллин

Примечание. Анализы выполнены И.А.Блиновым в Институте минералогии УрО РАН, СЭМ VEGA3 TESCAN. Проверк — элемент не обнаружен. Спектры соответствуют рис. 3.



**Рис. 3. Морфология выделений минералов элементов платиновой группы и ассоциирующих с ними (фото в отраженных электронах):**

*a* — кристалл эрликманита (см. табл. 4, обр. 1) в хромите; *б* — кристалл лаурита в хромите (см. табл. 4, обр. 3); *в* — сросток плюмбопалладинита (см. табл. 4, обр. 2), пентландита (Pn) и никелистого железа (Fe-Ni), вокруг выделение хроммагнетита, вмещающий минерал — хромит; *г* — псевдоморфоза по неизвестному минералу, состоящая из железистого никеля (g), кобальтистого железа (k), пентландита (l), троилита (h, j) и оксида железа с примесями (i); *д* — включение в хромите: сросток железистого никеля (e, f), хроммагнетита и силиката; *е* — включение железистого никеля и силиката в хромите; *a–в, д–е* из обр. 9, 10 (см. табл. 1)

## 4. Состав минералов ПГЭ в хромите Логиновского проявления, обр. 1505-2, мас. %

№№ п/п	Ru	Rh	Os	Ir	Pd	Pb	Fe	S	Сумма	Формула
1	9,01	2,63	57,27	2,3				28,79	100	$Os_{0,67}Ru_{0,20}Rh_{0,06}Ir_{0,03}S_{2,00}$
2	37,93		22,69	5,49			-	33,90	100	$Ru_{0,71}Os_{0,23}Ir_{0,05}S_{2,00}$
3	35,7		25,65	2,56			1,37	33,98	99,27	$Ru_{0,67}Os_{0,25}Fe_{0,05}Ir_{0,03}S_{2,00}$
4	20,17		35,63	8			6,28*	29,91	100	$Ru_{0,43}Os_{0,40}Fe_{0,24}Ir_{0,09}S_{2,00}$
5	-		-	-	45,95	54,05	-	-	100	$Pd_{0,62}Pb_{0,38}$

Примечание. Анализы выполнены И.А.Блиновым в Институте минералогии УрО РАН, СЭМ VEGA3 TESCAN. Прочерк — элемент не обнаружен, звездочка — подсветка самородного железа.

го ряда лаурит-эрликманит образуют идиоморфные кристаллы различных сечений в хромите (см. табл. 3). Плюмбопалладинит встречается совместно с пентландитом, пирротинном, железистым никелем и магнетитом (тонкая кайма псевдоморфоз) (табл. 4–7; см. рис. 3, в, г). Он входит в состав сложных псевдоморфоз по неизвестному минералу, который образует идиоморфные и округлые выделения в хромите ( $Fe_{0,62}Mg_{0,37}Ni_{0,01}Al_{0,74}$ ) (см. рис. 3, г). Иногда подобные псевдоморфозы встречаются в серпентине. По-видимому, эти агрегаты замещают сингенетичные включения высокотемпературных твердых растворов сульфида никеля и железа + металл (округлые включения) или сульфидов — хизлевудит + пентландит (кристаллические включения). В таких же включениях наблюдаются субмикронные участки, обогащенные иридием. При серпентинизации включения замещаются агрегатом никелистого железа, в которых также фиксируются участки, обогащенные иридием.

Таким образом, сульфиды осмия и рутения в изученных образцах образуют идиоморфные кристаллы размером первые микрометры и приурочены к хромиту. Плюмбопалладинит и недиагностированный минерал иридия встречаются в составе сложных включений в хромите, состоящих преимущественно из пентландита, пирротина и сплава

никеля и железа. В том же зерне хромита присутствуют округлые (расплавные?) включения высокомагнезиального клинопироксена  $Ca_{0,92}Mg_{0,92}Fe_{0,08}Cr_{0,03}Al_{0,03}Na_{0,02}Mn_{0,01}(Si_{1,95}Al_{0,05})_2O_{6,00}$  и серпентинизированного оливина. Обращает на себя внимание низкая железистость пироксена.

Сульфидно-металлические включения, по-видимому, представляют собой продукт распада первичных высокотемпературных сульфидов с дефицитом серы, близких к хизлевудиту, на ассоциацию пентландита и железистого никеля или никелистого железа. При серпентинизации металлы в этих сульфидах восстанавливаются до самородных фаз с высвобождением и миграцией серы и образованием вторичных сульфидов в серпентинитах.

Помимо пироксенитов и хромититов Западно-Саксейского и Логиновского проявлений, изучены несколько образцов из ультрамафитовой части разреза габброидного комплекса в верховьях руч. Сухоляд (см. рис. 1). Образцы СК-98-23, 24 представлены «черными» оливиновыми клинопироксенитами и верлитами, содержащими значительное количество пылевидного магнетита и обладающими высокой магнитной восприимчивостью. Образец СК-98-29 — почти полностью серпентинизированный клинопироксенсодержащий дунит также с высоким содержанием магнетита.

## 5. Состав сплавов системы Fe-Ni-Co-Cu (мас. %) из обр. 1505/1 и 1505/2

№№ п/п	Fe	Ni	Co	Cu	Сумма	Формула
1	41,12	59,09			100,2	$Ni_{0,48}Fe_{0,42}$
2	39,58	61,23			100,81	$Ni_{0,60}Fe_{0,40}$
3	29,62	69,62			99,24	$Ni_{0,69}Fe_{0,31}$
4	69,86	2,03	26,88	1,12	99,89	$Fe_{0,71}Co_{0,26}Ni_{0,2}Cu_{0,01}$
5	24,11	73,26	1,26	1,37	100	$Ni_{0,72}Fe_{0,25}Co_{0,01}Cu_{0,01}$
6	25,96	73,09		0,35	99,4	$Ni_{0,73}Fe_{0,27}$
7	33,54	62,64	2,74	1,09	100	$Ni_{0,62}Fe_{0,34}Co_{0,03}Cr_{0,01}$
8	29,93	68,32		1,75	100	$Ni_{0,67}Fe_{0,31}Cr_{0,02}$
9	36,17	62,17		1,67	100,01	$Ni_{0,61}Fe_{0,37}Cr_{0,02}$

Примечание. См. табл. 4.



**6. Состав пентландита (1–3) и троилита (4–6), ассоциирующих с железистым никелем в псевдоморфозе, обр. 1505/1, мас. %**

№№ п/п	S	Fe	Cu	Co	Ni	Сумма	Формула
1	33,42	35,4	4,04	-	28,06	100,92	(Fe <sub>4,86</sub> Ni <sub>3,67</sub> Cu <sub>0,49</sub> ) <sub>9,02</sub> S <sub>8,00</sub>
2	33,08	40,35	-	0,63	25,94	100	(Fe <sub>5,60</sub> Ni <sub>3,43</sub> Co <sub>0,08</sub> ) <sub>9,11</sub> S <sub>8,00</sub>
3	33,38	40,46		26,16	100	(Fe <sub>5,57</sub> Ni <sub>3,42</sub> ) <sub>8,99</sub> S <sub>8,00</sub>	
4	36,0	60,27	0,73	-	3,01	100	(Fe <sub>1,01</sub> Ni <sub>0,02</sub> ) <sub>1,02</sub> S <sub>1,00</sub>
5	36,03	62,9	-		1,07	100	(Fe <sub>1,00</sub> Ni <sub>0,02</sub> ) <sub>1,02</sub> S <sub>1,00</sub>
6	35,97	63,18	0,85		-	100	(Fe <sub>1,01</sub> Cu <sub>0,01</sub> ) <sub>1,02</sub> S <sub>1,00</sub>

Примечание. См. табл. 4.

В верлитах и оливиновых клинопироксенитах выявлены повышенные концентрации благородных металлов с преобладанием легкоплавких платиноидов (Pt, Pd) (см. табл. 1). Минералогическое изучение образцов показало присутствие характерной для клинопироксенитов пирротин-пентландит-магнетитовой ассоциации. Собственные минералы ЭПГ в изученных аншлифах не обнаружены.

Потенциальные перспективы промышленной благороднометаллической минерализации на массиве Средний Крака связаны, в первую очередь, с узкой полосой ультрамафитов основания габброидного комплекса, включающих верлиты, клинопироксениты и приуроченные к ним проявления железистых хромитов. Хотя по особенностям строения и дифференциации габброидный комплекс массива значительно отличается от классических расслоенных интрузий, на всем его протяжении (>5 км) можно четко выделить его основную и ультраосновную части. Ширина выхода последней на поверхность составляет от 200 до 600 м. Потенциально рудоносны три ассоциации: феррихромитит-клинопироксенитовая, малосульфидная клинопироксенитовая и магнетитовых верлитов и клинопироксенитов.

Наиболее детально изучены проявления Западно-Саксейское и сопутствующие ему малосульфид-

ные клинопироксениты. В них содержание платиноидов до 2,39 г/т, Au до 2 г/т, обнаружены собственные минералы платиноидов и золота. Минералы элементов платиновой группы встречаются также в хромититах Логиновского проявления, высокие содержания золота и платины зафиксированы в верлитах и клинопироксенитах Сухолядовского участка. Все это говорит о том, что ультрамафитовый горизонт габброидного комплекса массива Средний Крака потенциально перспективен на обнаружение новых проявлений благороднометаллической минерализации.

Итак, в ультрамафитовой части габброидного комплекса массива Средний Крака впервые обнаружены минералы платиновой группы, представленные тетраферроплатиной, железистым брэггитом, плюмбопалладинитом, лауритом и эрликманитом.

В клинопироксенитах и приуроченных к ним небольших проявлениях железистых хромитов установлены высокие содержания благородных металлов. Суммарное содержание платиноидов составляет от 0,72 до 2,39 г/т.

Потенциальная благороднометаллическая рудоносность ультрамафитов габброидного комплекса массива Средний Крака связана с тремя ассоциациями: 1) феррихромитит-клинопироксенитовой, 2) клино-

**7. Состав пентландита (1–3) и хизлеудита (4, 5) из включений в хромите, обр. 1505/2, мас. %**

№№ п/п	S	Fe	Co	Ni	Cu	Сумма	Формула
1	33,23	35,53	0,54	30,7	-	100	(Fe <sub>4,91</sub> Ni <sub>4,04</sub> Co <sub>0,07</sub> ) <sub>9,02</sub> S <sub>8,00</sub>
2	33,52	40,17	0,52	25,79		100	(Fe <sub>5,50</sub> Ni <sub>3,36</sub> Co <sub>0,07</sub> ) <sub>8,93</sub> S <sub>8,00</sub>
3	33,58	37,54	0,67	28,21		100	(Fe <sub>5,13</sub> Ni <sub>3,67</sub> Co <sub>0,09</sub> ) <sub>8,89</sub> S <sub>8,00</sub>
4	27,27	1,91	-	70,21		99,39	(Ni <sub>2,81</sub> Fe <sub>0,08</sub> ) <sub>2,89</sub> S <sub>2,00</sub>
5	27,0	1,72		69,38		0,95	99,05

Примечание. См. табл. 4.

пироксенитовой малосульфидной и 3) магнетитовых верлитов и клинопироксенитов.

*Работа выполнена при поддержке гранта «РФФИ-Поволжье», проект «№14-05-97001р\_поволжье\_а».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Неустроева И.И. Платиноносность ультрамафитов и хромовых руд альпийских массивов Главного офиолитового пояса Урала // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 2. С. 182–200.
2. Волченко Ю.А., Неустроева И.И., Вилисов В.А. Платиноидное оруденение краевых полосчатых серий альпийских комплексов Урала // Ежегодник-1992. Екатеринбург, 1993. С. 77–80.
3. Дмитриенко Г.Г., Горелова Е.М., Савельева Г.Н. Минералы платиноидов в хромитах массива Нурали (Южный Урал) // Докл. РАН. 1992. Т. 324. № 2. С. 403–406.
4. Знаменский С.Е., Даниленко С.А., Ковалев С.Г., Сначев В.И. Генетические типы и платиноносность хромитов Нуралинского габбро-гипербазитового массива (Южный Урал) // Познание и сбережение недр РБ. Уфа, 1996.
5. Ковалев С.Г., Сначев В.И., Савельев Д.Е. Перспективы платиноносности рудных формаций башкирской части Южного Урала // Горный журнал: изв. вузов. 1997. № 5–6. С. 34–40.
6. Молошаг В.П., Смирнов С.В. Платиноидная минерализация Нуралинского гипербазит-габбрового массива (Южный Урал) // Зап. ВМО. 1996, Ч. СХХV. № 1. С. 48–54.
7. Новые и перспективные типы платинометалльного оруденения Урала / Ю.А.Волченко, К.К.Золоев, В.А.Коротеев и др. // Геология и металлогения Урала. Кн. 1. Екатеринбург, 1998. С. 238–255.
8. Платинометалльное оруденение в геологических комплексах Урала / К.К.Золоев, Ю.А.Волченко, В.А.Коротеев и др. – Екатеринбург: ДПР, 2001.
9. Савельев Д.Е. Петрогеохимические особенности и рудоносность габбро-гипербазитового массива Средний Крак: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – М., 2000.
10. Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А. Геология, петрогеохимия и хромитосность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008.
11. Смирнов С.В. Петрология верлит-клинопироксенит-габбровой ассоциации Нуралинского гипербазитового массива и связанное с ним платиноидное оруденение: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Екатеринбург, 1995.
12. Смирнов С.В., Волченко Ю.А. Первая находка платиноидной минерализации в хромитовых рудах Нуралинского массива на Южном Урале // Ежегодник-91. Екатеринбург, 1992. С. 115–117.
13. Смирнов С.В., Молошаг В.П. Первое Pt-Pd-е рудопроявление Нуралинского массива // Ежегодник-92. Екатеринбург, 1993. С. 92–94.
14. Сначев В.И., Ковалев С.Г., Рыкус М.В., Высоцкий И.В. Новые данные по платиноносности западного склона Южного Урала. – Препринт. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1996.
15. Сначев В.И., Савельев Д.Е., Рыкус М.В. Петрогеохимические особенности пород и руд габбро-гипербазитовых массивов Крак. – Уфа: Изд-во БашГУ, 2001.
16. Фоминых В.Г., Хвостова В.П. О платиноносности дунитов Урала // ДАН СССР. 1970. Т. 191. № 2. С.443–445.

# МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 517.958:539.3:622.8

© М.И.Гамов, В.Н.Труфанов, И.В.Рыбин, А.В.Труфанов, 2014

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ МЕТАЛЛОНОСНЫХ СИСТЕМ «УГОЛЬ–ПОРОДА–ФЛЮИД» В ТЕРМОБАРОГРАДИЕНТНЫХ УСЛОВИЯХ

М.И.Гамов, В.Н.Труфанов, И.В.Рыбин, А.В.Труфанов (Южный федеральный университет)

*Приводятся результаты исследований металлоносных систем «уголь–порода–флюид» при высоких перепадах температур и давлений. Рассматриваются теоретические аспекты поведения этих систем при экстремальных  $PTX$  параметрах, сопровождающихся кавитационными эффектами. Обсуждаются экспериментальные данные по вакуумной декриптометрии и автоклавному моделированию процессов деструкции кварц-углеродистых метасоматитов с выделением летучих компонентов и образованием тонкодисперсных продуктов с аномальными содержаниями элементов-примесей.*

*Ключевые слова: система «уголь–порода–флюид», термобарогradientные условия, процессы деструкции, теоретическое и автоклавное моделирование, извлечение цветных, редких и благородных металлов.*

*Гамов Михаил Иванович, gamov@sfnedu.ru, Труфанов Вячеслав Николаевич, Рыбин Илья Валерьевич, Труфанов Алексей Вячеславич*

## DESTRUCTION OF «COAL-ROCK-FLUID» METAL-BEARING SYSTEMS UNDER HIGH $PT$ GRADIENTS: THEORETICAL AND EXPERIMENTAL MODELING

M.I.Gamov, V.N.Trufanov, I.V.Rybin, A.V.Trufanov

*The paper presents results of studies of the coal–rock–fluid metal-bearing systems' reactions on high  $PT$  gradients. Theoretical aspects of these systems' behavior under extreme  $PTX$  parameters combined with cavitation effects are analyzed. Experimental vacuum decriptometry and vacuum autoclave modeling data on the destructive processes of quartz-carbonaceous metasomatites with emission of volatile components and formation of highly dispersed products anomalously rich in trace elements are discussed.*

*Key words: coal–rock–fluid system, thermobarogradient conditions, destruction, theoretical and autoclave modeling, extraction of non-ferrous, rare and noble metals.*

Среди основных направлений научно-технического прогресса в области рационального природопользования, сложившихся к началу XXI в., одной из актуальных проблем является комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов, в том числе угольных месторождений с получением угольного метана, промышленно важных металлов и редкоземельных элементов, высокоуглеродистых продуктов с уникальными технологическими свойствами.

Главная цель при решении этой проблемы — разработка геотехнологических методов интенсификации процессов деструкции систем «уголь–порода–флюид». Среди них значительное развитие получили методы, основанные на термобарогradientной деструкции систем, а именно гидроразрыв, гидрорасчленение, торпедирование, пневмогидровоздействие и наиболее перспективный из них — метод «кавитации», успешно применяемый

американскими геотехнологами [15]. При реализации способа для получения полезных компонентов основная задача состоит в определении оптимальных параметров термобарогradientного воздействия на углепородный массив в целях инициирования лавинного самоподдерживающегося разрушения угольного пласта при совместном действии упругих сил и давления флюида. Данная задача решается главным образом эмпирическим путем, так как теоретическое и экспериментальное обоснование метода «кавитации» находится в начальной стадии исследований.

В этой связи определенный интерес представляют результаты исследований эффекта «анти-взрыва», или «обратного» взрыва, заключающегося в спонтанном разрушении минералов, пород и руд в условиях взрывообразных перепадов давления и температуры [11, 16, 17]. В отличие от обычного взрыва, характеризующегося резким возрастанием

$PT$  параметров, эффект «обратного» взрыва возникает в условиях практически мгновенного перехода систем «флюид–твердое» от высокого давления к вакууму с одновременным снижением температуры. В последнее время этот эффект был теоретически и экспериментально исследован сотрудниками Геотехцентра Южного федерального университета применительно к металлоносным системам «уголь–порода–флюид» при разработке новых технологий извлечения элементов-примесей из кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса, представленных фтанитами, лидитами, кварцитолитами и кварц-карбонатными гидротермалитами. Полученные результаты обсуждаются в настоящей статье.

*Теоретический анализ.* Как показано ранее [17], в теоретическом плане эффект «обратного» взрыва принадлежит к категории сложных фазовых взаимодействий в системах типа «флюид–твердое», сочетающих многообразные физико-химические, газогидродинамические, кристаллохимические и молекулярно-кинетические явления.

На основании наиболее общих представлений неравновесной термодинамики, кинетической теории газов и газодинамики можно полагать, что в момент «взрывообразного» перехода системы «уголь–порода–флюид» от высоких к низким  $PT$  параметрам возникает перемещающаяся ударная волна, которая сопровождается скачкообразными изменениями основных параметров состояния вещества — структуры, плотности, давления и температуры. За ударной волной следует волна разрежения, разделяющая толкающий флюид и окружающую рабочую среду. При встрече с препятствием (например стенкой камеры или обнаженной поверхностью угольного пласта) образуется отраженная взрывная волна, движущаяся навстречу прямой и, тем самым, создаются предпосылки для явлений интерференции. При определенной конфигурации флюидного потока возможны резкие, скачкообразные изменения скорости движения струи флюида от дозвуковой к гиперзвуковой, сопровождающиеся конденсационными скачками и кавитационными эффектами. Гидродинамическая кавитация вызывает, в свою очередь, локальные термодинамические аномалии, так как в участках схлопывания пузырьков газа развиваются давления до  $10^3$ – $10^4$  МПа, а температура до  $10^4$  К [2, 4, 14].

Очевидно, что чем больше перепад между областями высокого и низкого давлений, тем более высокой будет кинетическая скорость движения молекул флюида и тем более высокоэнергетическими кавитационные термодинамические аномалии. Этот вывод, в частности, базируется на анализе уравнения состояния флюидного потока в ударной волне [14]:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{2C_1M_s^2 - (C_1 - 1)}{(C_1 + 1)}, \quad (1)$$

где  $P_1$  — давление за ударной волной;  $P_2$  — давление перед волной;  $C_1$  — удельная теплоемкость флюида;  $M_s = \omega/\alpha$  — число Маха, равное отношению скорости волны к скорости звука в данной среде.

Путем простого преобразования формулы (1) находим:

$$M_s = \sqrt{\frac{P_2(C_1 + 1) + P_1(C_1 - 1)}{2P_1C_1}}. \quad (2)$$

Из анализа формул (1) и (2) следует, что скорость распространения ударной волны и величина давления в ударной волне зависят главным образом от перепада давления в системе «уголь–порода–флюид» и скорости «разгрузки» предварительно напряженного угольного пласта. Так, при отношении  $P_2/P_1=50$  величина  $M_s$  составит 3,8 ед., а скорость распространения ударной волны 1200 м/сек. При исходном  $P_1$  порядка 10 МПа и величине  $M_s=5$  давление в ударной волне достигает  $>120$  МПа. Аналогичные уравнения установлены для оценки перепадов температур и плотностей флюида и учитывают его адиабатическое разрежение при сбросе давления.

Для расчета перепада температур:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{[2 + (C_1 - 1) \cdot M_s^2] \cdot [2C_1M_s^2 - (C_1 - 1)]}{M_s^2(C_1 + 1)}, \quad (3)$$

где  $T_1$  — температура среды за ударной волной;  $T_2$  — температура среды перед волной;  $C_1$  — удельная теплоемкость;  $M_s$  — число Маха.

Для расчета скачков плотности:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{(C_1 + 1) \cdot M_s^2}{(C_1 - 1)M_s^2 + 2}, \quad (4)$$

где  $\rho_1$  — плотность флюида за ударной волной;  $\rho_2$  — плотность флюида перед волной.

Эти оценки показывают, что адиабатическое снижение температуры при перепаде давления в 50 бар составит  $20^\circ\text{C}/\text{сек}$ , а скачки плотности могут различаться на первые порядки величин. Такие термодинамические условия — «спусковой крючок» для развития собственно явлений кавитации с образованием микрокаверн и их последующей рекомбинации при значительно более высоких давлениях и температурах.

Если в подобное термобароградиентное поле поместить геохимическую систему «уголь–порода–флюид» с анизотропными свойствами, то возникающие весьма высокие флуктуации температуры, давления и плотности приведут к ее разрушению, разрыву химических связей, ионизации молекул и развитию механохимических реакций с генерацией газов и появлением новых химических соединений или индивидуальных более простых

продуктов (вплоть до простых веществ). В локальных участках повышенных барических нагрузок можно ожидать синтез высокоэнергетических модификаций веществ с аномально высокой плотностью. Таким образом, преимущество технологии «обратного» взрыва заключается в комплексном воздействии на систему «уголь–порода–флюид» одновременно несколькими высокоэффективными факторами — большими перепадами давления и температуры в сочетании с микрокавитационными явлениями, скачками плотности и различными электрохимическими эффектами.

К сказанному сделаем важное дополнение. В тех случаях когда угольные пласты подвергаются процессам тектонического дробления и углеводородной флюидизации, в образующихся структурных ловушках резко увеличиваются относительное и абсолютное содержания не только свободного трещинно-порового, но и капсулированного (в виде флюидных и клатратных соединений включений) флюида, что в итоге приводит к известным внезапным выбросам и суфлярным газовыделениям при вскрытии таких флюидизированных зон, а также к развитию в них процессов рудообразования [5, 6, 9].

Согласно опубликованным и полученным нами данным [10, 13], в участках угольного пласта и углевмещающих пород, прилегающих к зонам флюидизации, качественно изменяются структура и многие свойства угольного вещества, увеличиваются степень его дисперсности, способность перехода системы «уголь–порода–флюид» в метастабильное состояние и, следовательно, возрастает вероятность самопроизвольного спиноидального распада с выделением избыточных количеств газа и дисперсных продуктов в термобароградиентных условиях [18]. В зонах флюидизации углепородных массивов формируются кварц-углеродистые метасоматиты с аномально высокими содержаниями цветных, редких и благородных металлов [18].

С позиций этой весьма сложной многофакторной модели, многие детали которой еще требуют дальнейшей расшивки, наиболее неустойчивое, метастабильное и энергетически пересыщенное состояние системы «уголь–порода–флюид» достигается при некоторых достаточно детерминированных условиях, диктуемых основными управляющими параметрами модели: удельной газоносностью  $\theta$  (отношение реального газосодержания в 1 т угля), энергетическим потенциалом Гиббса  $G$ , определяемым по величине  $F$ -показателя флюидоактивности и степенью механических деформаций  $\xi$  при растяжении (-) и сжатии (+) (рис. 1). Диаграмма составлена по данным теоретического моделирования состояния системы «уголь–флюид» [3, 7, 8] и

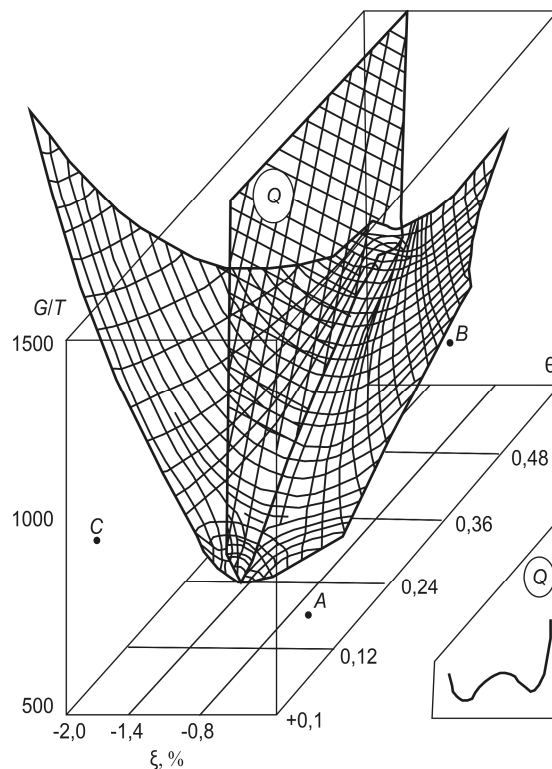


Рис. 1. Сводная термодинамическая диаграмма состояния системы «уголь–порода–флюид» (пояснения в тексте)

результатам проведенных нами экспериментальных работ.

Из анализа диаграммы следует, что состояние системы «уголь–порода–флюид», трассируемое вдоль плоскости  $Q$  (максимально неустойчивое, взрывоопасное) и определяемое в меньшей степени положением внутри объемной фигуры на рис. 1, весьма нежелательно при проходке горных выработок в силу большой вероятности возникновения опасных газодинамических явлений и, в то же время, наиболее благоприятно для превентивного извлечения (добычи) угольного метана и угольной суспензии с аномально высокими содержаниями промышленно важных элементов-примесей. Нетрудно видеть, что к такому максимально «выгодному» для практических целей состоянию угольный пласт (или его часть) может быть приведен разными внешними воздействиями в зависимости от исходного состояния породного массива. Так, если пласт находится в положении, соответствующем точке  $A$  на диаграмме, то для перехода его в неустойчивое метастабильное состояние необходимо увеличить энергетический потенциал системы с одновременным увеличением удельной газоносности и снижением механической нагрузки (напри-

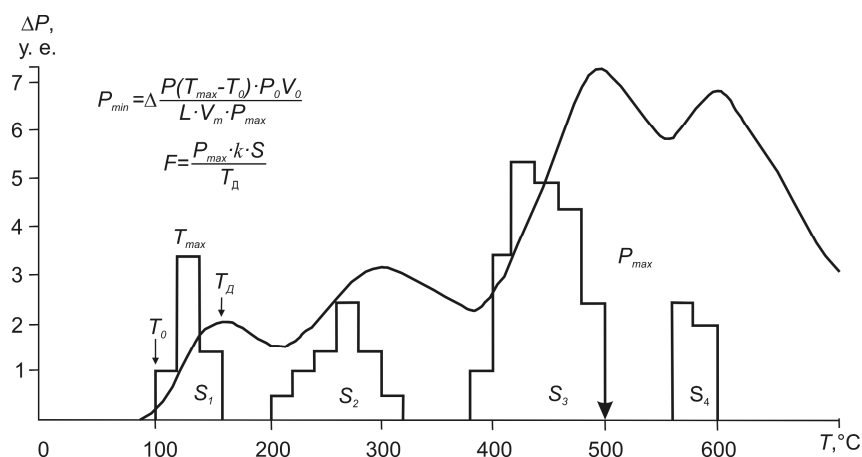


Рис. 2. Типовая вакуумная декриптограмма системы «уголь–порода–флюид» с расчетом давления флюида  $P$  и  $F$ -показателя флюидоактивности

мер, методом термобароградиентного воздействия). Если же пласт находится в положении  $B$ , то достаточно только разгрузить его, чтобы начался спонтанный распад метанугольного раствора с интенсивным газовыделением. Наконец, из положения  $C$  весьма трудно (скорее, невозможно) перевести пласт в благоприятное для деструкции состояние, так как он, очевидно, уже максимально дегазирован природными процессами (например, тектоническими). В данном случае разрушение угольного пласта может быть достигнуто в результате термического или физико-химического (например, плазменного) воздействия на систему «уголь–порода–флюид».

**Методика экспериментов.** Для моделирования процессов деструкции систем «уголь–порода–флюид» недостаточно стандартных методов сорбции-десорбции, применяемых при исследованиях ископаемых углей. Необходимо использовать специальное вакуумно-декриптометрическое и автоклавное оборудование, обеспечивающее возможность изучения процессов деструкции систем «уголь–порода–флюид» при высоких перепадах температур и давлений. С этой целью нами разработаны оригинальные приборы и устройства — вакуумные декриптографы ВД-5, ВД-6 и автоклавная установка БАР-1 [1, 12].

Методы вакуумной декриптометрии минералов, пород и руд основаны на регистрации эффектов газовыделения при нагревании твердых веществ в вакууме, обусловленных декрипацией флюидных включений и процессами термодеструкции системы «флюид–твердое». При этом микровзрывы флюидных включений фактически моделируют условия «обратного» взрыва на микроуровне, поскольку си-

стема «флюид–твердое» практически мгновенно переводится от высоких к низким  $PT$  параметрам [12].

При вариационно-статистической обработке термовакуумных кривых строятся вакуумные декриптограммы, по которым устанавливаются температурные интервалы и максимумы газовыделения, определяется давление вскрытия флюидных включений и рассчитывается величина энергетического  $F$ -показателя флюидоактивности пробы по методике, предложенной нами [12] (рис. 2), по формуле:

$$F = \Delta P \cdot V / T_g = P_{max} \cdot k \cdot S / T_g, \quad (5)$$

где  $\Delta P$  — приращение давления в капсуле прибора за счет выделения газовой фазы;  $V$  — объем газовыделения;  $P_{max}$  — максимальное давление в капсуле ВД-5 при эффекте газовыделения;  $k$  — коэффициент пропорциональности;  $S$  — площадь гистограммы;  $T_g$  — температура максимума газовыделения.

В соответствии с законом Менделеева-Клапейрона ( $PV = nRT$ ) и кинетическим уравнением состояния газов ( $PV = 1/3 \cdot Nmu^2$ ) величина  $F$ -показателя является энергетической характеристикой процесса разрушения системы «уголь–порода–флюид», так как она зависит от количества грамм-молей газа  $N$ , выделяющегося при термодеструкции пробы, и квадрата скорости его молекул  $u$ , т.е. кинетической энергии газовых компонентов системы.

Таким образом, определение  $F$ -показателя дает возможность установить температуру распада системы «уголь–порода–флюид» и оценить ее энергонасыщенность, которая существенно различается для разных типов систем «уголь–порода–флюид» и зависит от условий их образования. Для моделирования процессов деструкции систем «уголь–порода–флюид» применялась автоклавная установка БАР-1 [1, 16].

Установка БАР-1 представляет собой автоклавное устройство импульсно-прогонного типа, включающее цилиндрический автоклав, соединяющийся через переходник с реакционной камерой, бароградиентным делителем и ресивером. Для создания перепадов давления переходник и бароградиентный делитель снабжены соплами Лавала и разделительными мембранами, обеспечивающими проведение экспериментов в разных режимах. При этом в переходнике, реакционной камере, барогра-

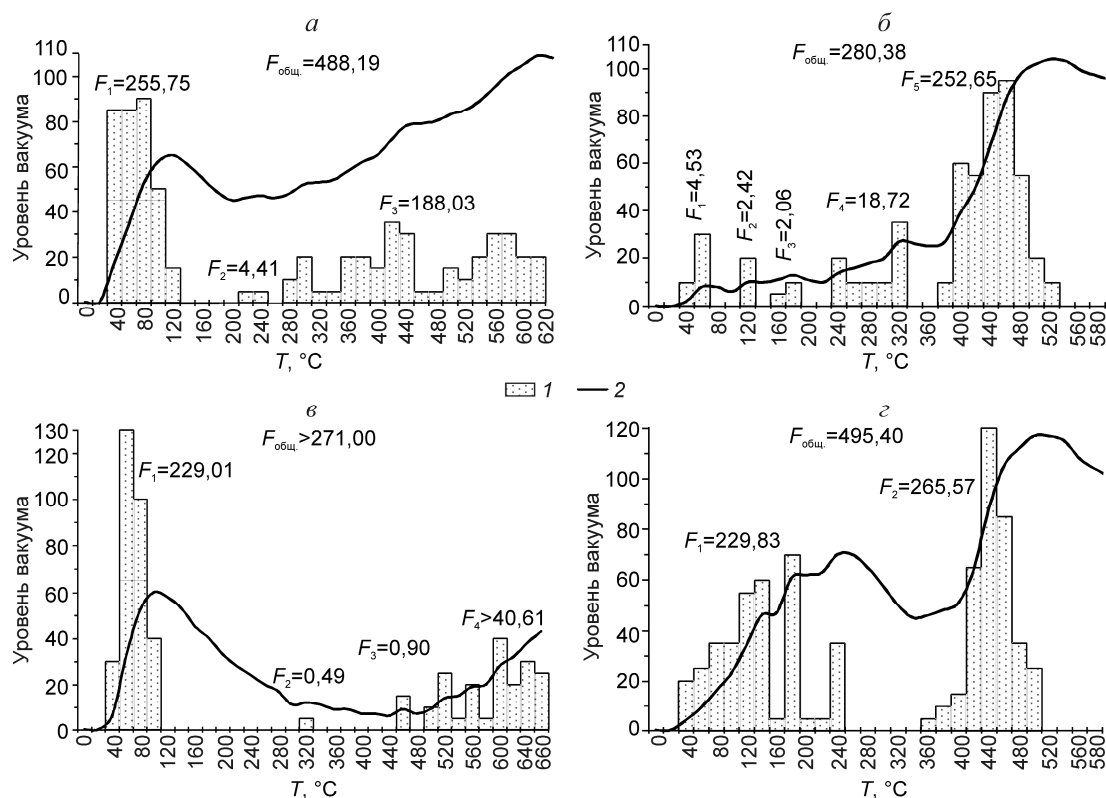


Рис. 3. Вакуумные декриптограммы кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса:

*a* — обр. № 10, гидротермалит (пос. Синегорский), 0,5–0,2 мм, 200 мг, уровень вакуума=6,1 у.е.; *б* — обр. № 11б, фтанит («кобыла») (г. Новошахтинск), 0,5–0,2 мм, 5 мг, уровень вакуума=7 у.е.; *в* — обр. № 12в, лидит (Краснодонское месторождение, Белокалитвенский район), 0,5–0,2 мм, 5 мг, уровень вакуума=6,3 у.е.; *г* — обр. № 12д, кварцитолит (Краснодонское месторождение, Белокалитвенский район), 0,5–0,2 мм, 100 мг, уровень вакуума=7 у.е.

диентном делителе и ресивере возникает вакуум порядка  $n \cdot 10^{-2}$  мм ртутного столба. Автоклав нагревается печами цилиндрического типа. Эксперименты на установке БАР-1 могут проводиться с максимальными температурами до 500–600 $^\circ\text{C}$  при давлениях, зависящих от коэффициента заполнения, температуры нагрева автоклава и состава флюидов.

Режим экспериментов был направлен на моделирование следующих вероятных геодинамических ситуаций:

*A* — постепенное нарастание давления и температуры в замкнутой системе «уголь–порода–флюид» с последующим снижением *PT* параметров;

*B* — скоростное истечение (дросселирование) флюидов через трещиноватый образец с флуктуационным снижением *PT* параметров;

*C* — ударное воздействие на систему «уголь–порода–флюид» струи флюида в режиме «обратного» взрыва с последующим дросселированием продуктов деструкции через дырчатую мембрану и неравномерным спадом *PT* параметров.

Для экспериментов использовались образцы кварц-углеродистых метасоматитов, отобранные из пластов  $m_8^1$  Краснодонской шахты № 17 и  $h_{11}^8$  Новошахтинской шахты Восточного Донбасса. В качестве типовых проб служили образцы существенно углеродистых лидитов, существенно кварцевых силицитов (кварцитолитов) и жильных гидротермалитов, а также сложных по составу кварц-углеродистых полевошпат-гидрослюдистых фтанитов. Результаты технического анализа проб показывают, что они принадлежат к типичным представителям среднетематоморфизованных угольных пластов, природная газоносность которых варьирует от 20–23 м<sup>3</sup>/т (шахта Новошахтинская) до 25–40 м<sup>3</sup>/т (шахта № 17). Наиболее интересные результаты получены при испытаниях кварцитолитов.

Кроме отмеченных специальных методов, исходные пробы кварц-углеродистых метасоматитов и продукты их деструкции изучались оптико-микроскопическими методами, ситовым гранулометрическим методом и флюоресцентным спект-

1. Результаты вакуумно-декриптометрического анализа типовых проб кварц-углеродистых метасоматитов из некоторых шахт Восточного Донбасса

Номера проб	Анализируемый материал, место отбора	Температура максимумов газовыделения, °С	F-показатель, у.е.	Сумма F
12в	Лидит, Краснодонское месторождение	40–120	229,01	271,0
		320–330	0,49	
		460–470	0,9	
		520–680	40,61	
10	Жильный кварц, Краснодонское месторождение	40–140	255,75	448,19
		220–250	4,41	
		300–450	188,03	
12д	Кварцитолит, Краснодонское месторождение	40–180	229,83	495,4
		360–500	265,57	
12в-Ба-Т	То же, после обработки на БАР-1 в стационарном режиме	40–300	263,11	472,79
		540–720	209,67	
12в-Бп-Д	То же, после обработки на БАР-1 в режиме дресселирования	40–300	105,4	286,23
		440–450	3,0	
		500–520	2,71	
		540–720	175,12	
12в-Ба-ОВ	То же, после обработки на БАР-1 в режиме «обратного» взрыва	40–300	54,87	62,83
		460–480	7,96	
11б	Окварцованный песчаник, Новошахтинск («кобыла»)	40–150	174,65	654,36
		240–520	479,71	

ральным анализом на электронном растровом микроскопе VEGA II LMU (фирмы «Tescan») с системами энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/XT и волнодисперсионного микроанализа INCA WAVE 700 (фирмы «OXFORD Instruments Analytical»).

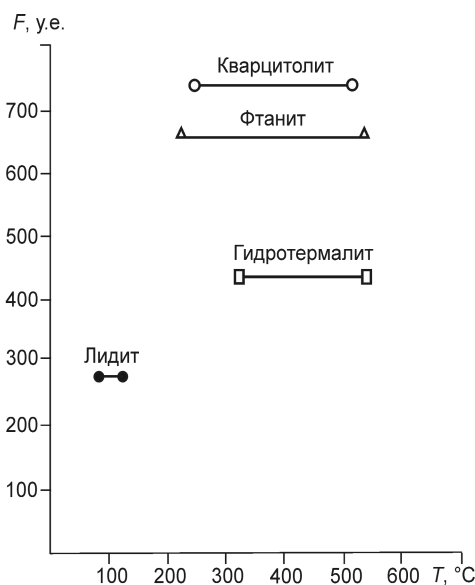


Рис. 4. Диаграмма зависимости между температурами минералообразования и F-показателем флюидоактивности кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса

В дополнение к ранее проведенным исследованиям [10, 17] приводим новые данные по вакуумной декриптометрии системы «уголь–порода–флюид» на примере кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса (рис. 3, табл. 1).

По результатам исследований построена диаграмма зависимости между температурами декриптации и F-показателями флюидоактивности изученных проб кварц-углеродистых метасоматитов (рис. 4), из которой следует, что минимальным энергетическим уровнем активации характеризуются лидиты, а максимальным — окварцованные песчаники, именуемые шахтерами «кобылами» как наиболее трудные участки при проходке горных выработок и отработке угольных месторождений, кварц-углеродистые метасоматиты. Жильные кварцы и кварцитолиты занимают промежуточное положение, образуя в целом закономерный ряд гидротермально измененных пород, крайними членами которого являются слабо измененные осадочные породы и интенсивно измененные флюидизиты. Ранее подобный энергетический ряд был установлен для углей разной степени флюидизации, в котором минимальные энергии активации оцениваются в 0,5–1,0 эВ, средние в 1,0–1,5 эВ, максимальные в 1,8–2,0 эВ [10, 18].

С учетом полученных данных на установке БАР-1 проведено автоклавное моделирование фазовых взаимодействий в системах «уголь–порода–флюид» при термобарогradientных параметрах,



соответствующих условиям формирования флюидоактивных зон в угольных пластах Восточного Донбасса [1, 16].

В первой серии экспериментов по моделированию процессов деструкции системы «уголь–порода–флюид» исходные пробы кварцитоцитов загружались в реакционную камеру автоклава установки БАР-1 на 2/3 ее объема и заливались дистиллированной водой до 80% заполнения объема. Автоклав герметизировался и нагревался до температуры 120–450°C (в разных опытах), причем давление в реакционной камере достигало, соответственно, 5–80 бар. Автоклав выдерживался при этих параметрах в течение 2 ч и затем быстро (150°C/мин) охлаждался до комнатной температуры. При вскрытии автоклава во всех случаях наблюдалось однотипное, но разное по интенсивности, в зависимости от *PT* параметров, изменение структуры и текстуры кварцевоугольного вещества, заключающееся в разбухании угольных фрагментов, перекристаллизации кварцевых зерен и частичной их дезинтеграции (табл. 2).

Вакуумная декриптометрия этих же проб обнаруживает возрастание максимумов газовыделения в области низких температур (120–200°C) при резком снижении эффектов в среднетемпературной зоне. Одновременно в интервале 560–700°C появляются четко выраженные максимумы газовыделения, отсутствовавшие у исходных проб и связанные, очевидно, с процессами декриптации клатратных соединений включений (см. табл. 1). В составе газов, наряду с исходными компонентами, обнаруживается примесь CO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub>, что, несомненно, связано с окислением органических веществ и сульфидов железа, а также с разложением карбонатов. Вместе с тем, суммарная интенсивность газовыделения, оцениваемая по величине *F*-показателя флюидоактивности, изменяется незначительно от 649,45 у.е. в исходном образце до 472,79 у.е. после автоклавной обработки (см. табл. 1).

Во второй серии экспериментов в реакционную камеру автоклава установки БАР-1 помещалась дистиллированная вода, а в ее переходник — издробленный до фракции 3,0 мм кварцитолит, отделенный от реакционной камеры разрушающейся мембраной. В системе создавался вакуум  $n \cdot 10^{-2}$  мм ртутного столба. При последующем нагреве реакционной камеры до 400°C мембрана разрушалась и

## 2. Результаты гранулометрического анализа проб кварц-углеродистых метасоматитов, обработанных на автоклавной установке БАР-1

Номера проб	Размер фракций, мм					
	-2 +1	-1 +0,5	-0,5 +0,315	-0,315 +0,14	-0,14 +0,071	-0,071
10 (исходная)	100%	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
10-Ба-Т	98%	2%	н/о	н/о	н/о	н/о
10-Бп-Д	93%	5%	1%	1%	н/о	н/о
10-Ба-ОВ	80%	8%	7%	3%	1%	1%
11б (исходная)	100%	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
11б-Ба-Т	95%	4%	1%	н/о	н/о	н/о
11б-Бп-Д	92%	4%	2%	1%	н/о	н/о
11б-Ба-ОВ	79%	11%	6%	1%	1%	1%
12в (исходная)	100%	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
12в-Ба-Т	96%	3%	1%	н/о	н/о	н/о
12в-Бп-Д	92%	4%	2%	1%	1%	н/о
12в-Ба-ОВ	78%	9%	6%	4%	2%	1%
12д (исходная)	100%	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
12д-Ба-Т	92%	8%	н/о	н/о	н/о	н/о
12д-Бп-Д	90%	н/о	н/о	н/о	10%	н/о
12д-Ба-ОВ	75%	10%	6%	5%	3%	1%

Примечание. Ба — проба, находившаяся в автоклаве; Бп — проба, находившаяся в переходнике установки; Т — стационарный режим; Д — режим «дресселирование»; ОВ — режим «обратный» взрыв.

образующаяся водно-газовая смесь дресселировалась через издробленный образец в переходнике установки БАР-1 в режиме флуктуационного спада давления и температуры. Каждый опыт повторялся до 10–12 раз, но результаты в общем можно считать однотипными:

кварцитолит в переходнике, непосредственно подвергавшийся воздействию струи флюида на выходе последнего из реакционной камеры, интенсивно корродирован и частично диспергирован до фракции <0,1 мм, что отчетливо видно по результатам гранулометрического анализа проб (см. табл. 2);

в средней зоне переходника кварцитолит уплотнен, отдельные зерна его сцементированы в общую массу в результате отложения на угольных частицах сажистого и тонковолокнистого углерода в виде пленок, вискеро- и колломорфных агрегатов, обволакивавших корродированные фрагменты;

на выходе из переходника кварцитолит превращен в «дресву», погруженную в смолоподобную или водно-битумную эмульсию, содержащую фенолы (10–15%), осмоляющиеся вещества (30–40%), асфальтены (3–5%), жидкие углеводороды, извлекаемые петролейным эфиром (20–30%), карбоновые кислоты, органические основания, эфиры (2–5%), которые являются типичными продуктами

### 3. Содержания элементов-примесей в кварц-углеродистых метасоматитах при разных режимах переработки в автоклавной установке БАР-1, г/т

Тип метасоматита	Исходная проба	Стационарный режим	Режим «обратного» взрыва	Режим дросселирования
Фтанит	7431	5510	5993	4828
Кварцитолит	2653	1968	950	2610
Гидротермалит	6602	4978	5996	6606
Лидит	747	667	800	674

низкотемпературной деструкции и гидрогенизации ископаемых углей.

В составе газов на выходе из переходника преобладают  $\text{CH}_4$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Кроме того, установлены  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ , также характерные для начальных стадий термической газификации углей.

По данным вакуумной декриптометрии для диспергированного кварцитолита показатель уменьшения низкотемпературного максимума газовой выделения ( $100\text{--}120^\circ\text{C}$ ), появление дополнительных эффектов в интервале температур  $560\text{--}720^\circ\text{C}$  и раздвоение максимумов при  $400\text{--}500^\circ\text{C}$ . В целом же наблюдается общее снижение  $F$ -показателя флюидоактивности от 495,4 до 286,23 у.е., т.е. уменьшение интенсивности газовой выделения в 1,2–1,8 раза по сравнению с исходным образцом (см. табл. 1).

В опытах третьей серии в реакционную камеру автоклава помещалась фракция кварцитолита с дистиллированной водой на 80–90% ее заполнения. Автоклав герметизировали запирающей мембраной, в системе создавался вакуум  $n \cdot 10^{-2}$  мм ртутного столба. В дальнейшем автоклав нагревали до температуры разрушения запирающей мембраны ( $375\text{--}425^\circ\text{C}$ ) с возникновением эффекта «обратного» взрыва.

При воздействии флюидом на кварцитолиты в условиях «обратного» взрыва наблюдается интенсивная дезинтеграция кварцево-угольных фрагментов с увеличением количества тонкодисперсного материала, причем содержание последнего возрастает при более высоких перепадах давления (см. табл. 2). Как показывают результаты оптико-микроскопического анализа, при этом еще более интенсивно по сравнению с предыдущей серией экспериментов разрушается надмолекулярная структура кварц-углеродистых метасоматитов. Об этом же свидетельствуют и данные вакуумной декриптометрии проб, показывающие усложнение эффектов и резкое снижение их интенсивности от 495,4 до 62,83 у.е. с практическим исчезновением высокотемпературных максимумов декриптации (см. табл. 1).

Несомненный интерес представляют результаты исследований содержания элементов-примесей

в тонкодисперсных фракциях, образующихся при деструкции кварц-углеродистых метасоматитов в термобароградиентных условиях. По данным анализа на электронном растровом микроскопе в них обнаруживаются локальные участки с аномально высокими содержаниями цветных, редких и благородных металлов. Так, содержание  $\text{Ti}$  изменяется от 133 до 1400,  $\text{Pb}$  от 26 до 85,  $\text{Zn}$  от 59 до 650,  $\text{Cu}$  от 30 до 150,  $\text{Ag}$  от 4,3 до 12,8,  $\text{Ge}$  от 283 до 3472 г/т, что говорит об экстракции элементов-примесей из исходных проб метасоматитов и их последующей концентрации в продуктах деструкции. По результатам эмиссионного спектрального анализа суммарные содержания элементов-примесей в исходных пробах достигают во фтанитах 7431, в кварцитолитах 2653, в лидитах 747, в гидротермалитах 6602 г/т и существенно снижаются после автоклавной обработки проб, т.е. происходит их выщелачивание (табл. 3). При этом извлекается от 25 до 65% элементов-примесей. Так как в опытах применялась только дистиллированная вода можно утверждать, что при использовании более активных растворов интенсивность процессов извлечения элементов-примесей значительно увеличится.

Хотя приведенные данные являются предварительными, они подтверждают большие перспективы в создании новых технологий глубокой переработки углей и углевмещающих пород на основе эффектов «обратного» взрыва.

Таким образом, автоклавное флюидогенное воздействие на систему «уголь–порода–флюид» в термобароградиентных условиях приводит к существенным изменениям в ее составе и структуре, обуславливающим в конечном итоге значительное снижение флюидоактивности и интенсивную деструкцию исходных веществ. При этом наиболее эффективным оказалось воздействие на кварц-углеродистые метасоматиты в режиме дросселирования флюида и резкого сброса  $PT$  параметров в предварительно напряженной системе «уголь–порода–флюид».

Проведенные нами исследования и эксперименты позволяют обозначить некоторые новые методические приемы для преодоления наметив-

шегося технологического барьера повышения газоотдачи и извлечения элементов-примесей из угольных пластов. В основе новых методов интенсификации газовыделения и получения угольной суспензии должен находиться принцип деструкции систем «уголь–порода–флюид» на молекулярном и надмолекулярном уровнях при термобарогradientных условиях, что невозможно при обычных приемах механической диспергации угольных пластов и вмещающих пород. Несомненно и то, что методы термобарогradientного воздействия на систему «уголь–порода–флюид» могут быть основой для создания новых технологий глубокой переработки каустобиолитов и извлечения из них промышленно важных компонентов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Автоклавная установка для переработки минерального сырья*. А. с. № 926046 от 7.01.1982 г. / В.Н.Труфанов, Н.А.Тимченко, Н.С.Прокопов // Бюллетень изобретений и открытий. 1982. №17.
2. *Галимов Э.М.* Кавитация как механизм синтеза природных алмазов // Изв. Ан СССР. Сер. геол. 1973. № 5. С. 75–85.
3. *Гуфан Ю.М., Моценко И.Н.* Модель структурных изменений в углях при метаморфизме // Препринт. Вып. 9. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1992.
4. *Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П.* Физика ударных волн и высокотемпературные гидродинамические явления. – М.: Наука, 1966.
5. *Иванкин П.Ф., Назарова Н.И.* Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в петрорудогенезе, соли- и нефтеобразовании. – М.: ЦНИГРИ, 2001.
6. *Иванкин П.Ф., Труфанов В.Н.* Об углеводородной флюидизации ископаемых углей // ДАН СССР. 1987. Т. 292. № 5. С. 1214–1216.
7. *Колесников В.В., Лосев Н.Ф.* Механизмы саморазрушения газонасыщенного угля, их связь с явлением выброса метанугольной смеси // Препринт. Вып. 14. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1995.
8. *Колесников В.В., Лосев Н.Ф.* Фазовый переход в пористом, газонасыщенном твердом теле // Научная мысль Кавказа. Приложение 1. СКНЦ ВШ, 2000. С. 101–111.
9. *Лосев Н.Ф., Труфанов В.Н., Смирнов В.В., Фролков Г.Д.* Процессы и явления, формирующие и сопровождающие выбросы угля и газа // Препринт. Вып. 13. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1994.
10. *Моделирование процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей* / В.Н.Труфанов, Н.Ф.Лосев, М.И.Гамов и др. // Препринт. Вып. 15. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1995.
11. *Моделирование депрессионно-вакуумного механизма кристаллизации минералов* / В.Н.Труфанов, Ю.Г.Майский, А.Т.Ушак и др. // Изв. СКНЦ ВШ, Естественные науки. 1974. № 1. С. 50–62.
12. *Основы прикладной термобарогеохимии* / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Л.К.Дудкевич и др. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2008.
13. *Особенности формирования и термобарогеохимические критерии прогнозирования выбросоопасных зон в угольных пластах* / В.Н.Труфанов, Н.Ф.Лосев, М.И.Гамов и др. // Препринт. Вып. 10. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1993.
14. *Перник А.Д.* Проблемы кавитации. – Л.: Наука, 1966.
15. *Пучков Л.А., Сластунов С.В., Коликов К.С.* Извлечение метана из угольных пластов. – М.: МГГУ, 2002.
16. *Теоретические и методические основы исследований фазовых переходов и процессов деструкции в системах «минерал–порода–флюид»* / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Н.С.Прокопов и др. // Изв. вузов Сев.-Кав. региона, Естественные науки. 2012. № 4. С. 102–107.
17. *Труфанов В.Н.* Исследование процессов дегазации ископаемых углей в условиях «обратного» взрыва //Изв. вузов Сев.-Кав. региона, Естественные науки. 2008. № 1. С. 108–114.
18. *Углеводородная флюидизация ископаемых углей Восточного Донбасса* / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Ю.Г.Майский и др. – Ростов-на-Дону: РГУ. 2004.

# СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 550.812:553.411 (084.3) 571.513

© Е.А.Белоножко, 2014

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЗОЛОТОРУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ КЕДРОВСКОГО УЧАСТКА ФЕДОРОВСКО-КЕДРОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ В ОРТОН-БАЛЫКСИНСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ, РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ

**Е.А.Белоножко (ООО «Геология Сибири»)**

*Проявления прожилково-вкрапленных золото-сульфидно-кварцевых руд локализованы в крутонадающих минерализованных зонах рассланцевания, приуроченных к контактам нижнекембрийских углеродсодержащих известняков и вулканогенно-осадочных образований. Поисковыми работами в рамках государственного контракта на участке Кедровский выявлены 17 близких минерализованных зон, в которых локализованы и предварительно оценены авторские прогнозные ресурсы категории  $P_1$  30,4 т.*

*Ключевые слова: минерализованные зоны, золото-сульфидно-кварцевые руды, прогнозные ресурсы.*

*Белоножко Елена Анатольевна, E.Belonozhko@mail.ru*

## GEOLOGY AND GOLD MINERALIZATION OF KEDROVSKIY PROPERTY, FEDOROVSKIY-KEDROVSKIY ORE FIELD, ORTON-BALYKSINSKIY ORE DISTRICT, REPUBLIC OF KHAKASIA, RUSSIA

**E.A.Belonozhko**

*Occurrences of veinlet-disseminated gold-sulfide-quartz mineralization are localized in steeply dipping mineralized schists following the contacts of the Lower Cambrian carbonaceous limestone and volcanic-sedimentary formations. Seventeen closely spaced mineralized zones were found to occur within the Kedrovskiy property; by the author's assessment, these carry 30,4 t gold ( $P_1$  category).*

*Key words: mineralized zone, gold-sulfide-quartz mineralization, inferred (predicted) resources.*

Участок Кедровский расположен на юго-восточном склоне Кузнецкого Алатау в Ортон-Балыксинском золотоносном районе на территории Республики Хакасия [1]. Основным полезным ископаемым в пределах района до недавнего времени было россыпное золото, крупные месторождения которого отработаны в долинах рек Федоровка, Ортон, Веселая, Магызы, Балыксу и их притоках. За время длительной разработки богатейших россыпей с 1832 г. добыто 24 т учтенного золота.

До начала XXI в. при геолого-съёмочных работах м-бов 1:200 000–1:50 000 и ГДП-50 в процессе общих и детальных поисков выявлены 74 жилы, 22 из них с видимым золотом. Участки с видимым золотом в жилах ограниченных размеров подвергались старательской отработке карьерами, штольнями и шурфами до глубины 10–20 м. Из четырех жил (Золотая-Дмитриевская, Кедровская-1, Комсомольская-1, Стержневая) в общей сложности добыто 247,1 кг учтенного золота. Кроме жил, в черносланцевых пачках и габбро-диоритах оконтурены семь зон с прожилково-вкрапленной минерализацией.

Новый этап поисков рудного золота в Ортон-Балыксинском районе возобновился после обнаружения в 2001–2002 гг. месторождения Федоровское-1. В авторском варианте (В.О.Конышев) для месторождения были подсчитаны запасы первичных руд категории  $C_1$  94,2 кг и окисленных руд категории  $C_2$  3281 кг. Оценены прогнозные ресурсы первичных руд категории  $P_1$  26,3 т [3]. В пределах горного отвода ОАО «КЕМО» также в авторском варианте (В.О.Конышев) оценены прогнозные ресурсы окисленных руд категории  $P_2$  16,1 т и первичных категории  $P_2$  120,3 т до средней глубины 220 м. Выявленный крупный золоторудный объект не оконтурен на флангах в Кемеровской области и на территории Хакасии. Это послужило основанием для геологоразведочных работ на фланге месторождения Федоровское-1 в Республике Хакасия.

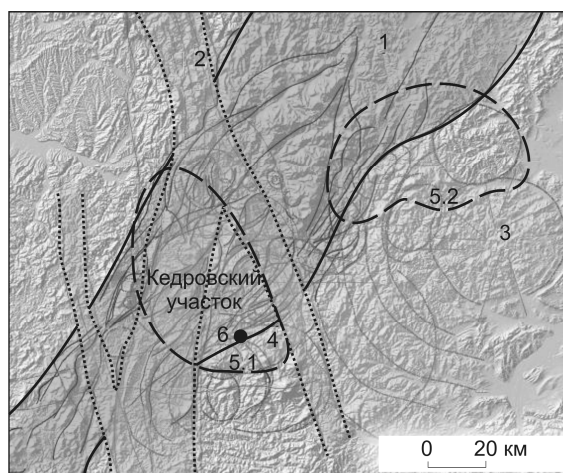
В 2005–2007 гг. при прогнозно-поисковых работах за счет средств федерального бюджета на Кедровском участке локализованы и апробированы прогнозные ресурсы категории  $P_2$  80,0 т со средним содержанием Au 2,45 г/т. С 2012 г. также по государст-

венному контракту ведутся работы по объекту: «Поисковые работы на золото в пределах Кедровского участка Федоровско-Кедровского рудного поля (Республика Хакасия)».

На начальном этапе при дешифрировании с использованием материалов предшественников установлено, что основная в металлогеническом отношении структурно-тектоническая зона (Главная) имеет северо-восточное простирание с азимутами  $\sim 50^\circ$  в северо-восточной части и  $\sim 30^\circ$  в юго-западной. Перегиб структуры с уменьшением значений азимута простирания происходит в районе р. Балыксу. Мощность данной тектонической зоны со сложным линзовидно-свилеватым внутренним строением достигает 70 км [2] (рис. 1). По морфологии Главная зона отвечает мезозональному типу структур (среднеглубинные, среднетемпературные). Размеры тектонических линз-свилей, составляющих Главную зону, колеблются (по короткой оси) от 30 км до первых метров. Соотношение длинной и короткой осей линз в среднем составляет 1/3. Линзы разграничены тектоническими швами мощностью от сотен метров до 1 км, в силу фрактальности (самоподобия строения зоны). Линзовидные блоки представляют собой относительно стабильные участки с более слабым проявлением динамометаморфизма и могут рассматриваться как области относительного растяжения, а межблочные швы — как зоны относительного сжатия. В центральных частях линзовидных блоков нередко располагаются интрузивные тела, дайковые пояса обычно локализованы в межблоковых швах. В подобных шовных зонах золоторудные объекты концентрируются вблизи одной из границ. Так, Федоровско-Кедровское рудное поле расположено вблизи юго-восточного фланга Главной шовной зоны.

Главная шовная зона — наиболее крупная и длительно развивавшаяся структура. В ее пределах породы динамометаморфизованы в зеленосланцевой и филлитовой фациях (до амфиболитовой на отдельных участках). К ней приурочены месторождения золота и других полезных ископаемых [6], в северо-восточном направлении она отчетливо фиксируется в структурах Батеневского кряжа, контролирующего положение крупнейшего Сорского Cu-Mo с благородными металлами месторождения порфирирового типа [4]. Региональный масштаб, разнообразная минерация, включающая широкий генетический спектр месторождений, в том числе с признаками мантийного происхождения, свидетельствуют о глубинном сквозьковом характере Главной шовной зоны и ее длительном геологическом развитии.

Вторая по значению региональная разрывная структура — Северо-Западная (см. рис. 1) — вклю-



**Рис. 1. Региональная структурная схема района Федоровско-Кедровского рудного поля на подложке цифровой модели рельефа:**

1 — Главная шовная зона; 2 — Северо-Западная зона разрывных нарушений; 3, 4 — основные кольцевые структуры; 5.1 — Балыксинский золоторудно-россыпной район; 5.2 — Уйбатский золоторудно-россыпной район; 6 — Кедровский участок

чает отдельные крупные линейменты север-северо-западного и субмеридионального простирания. Она сложена девонским грабеном вдоль р. Балыксу на северо-востоке, субмеридиональным Центральным разломом и Юго-Западной системой линейментов. Общая ширина данной структуры достигает 87 км. Мощность зоны девонского грабена по данным мелкомасштабного дешифрирования составляет  $\sim 16$  км, субмеридионального Центрального шва  $\sim 27$  км, Юго-Западной системы  $\sim 12$  км. В целом Северо-Западная тектоноструктура левосдвиговая, ее внешние блоки смещены — северо-восточный на северо-запад, юго-западный на северо-восток. Нарушения Северо-Западной зоны относятся преимущественно к хрупким деформациям и искажают структуры Главной зоны. Главная зона, в свою очередь, влияет на составные элементы Северо-Западной. Так, на севере территории при пересечении границ Главной зоны с севера на юг мощность Северо-Западной зоны резко уменьшается. Повидимому, это свидетельствует о неоднократном подновлении структур. Нарушения других направлений, в частности субширотные, мощных зон не образуют и, вероятно, относятся к наиболее молодым хрупким разломам.

Относительно крупные кольцевые структуры, распознаваемые при мелкомасштабном дешифрировании, диаметром от 4,5 до 60 км. Наиболее крупная среди них (см. рис. 1) расположена к вос-

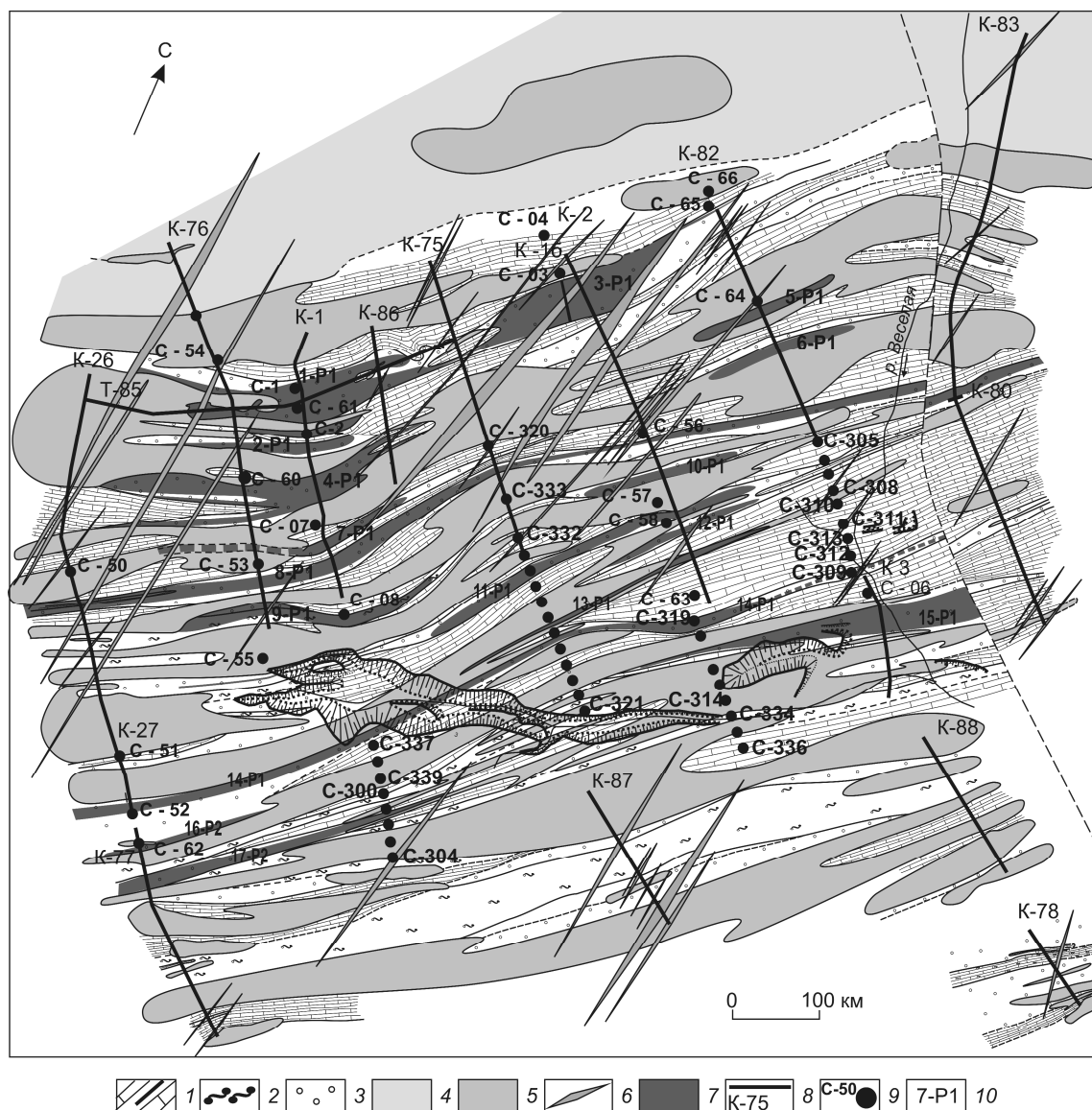


Рис. 2. Схематический геологический план участка Кедровский:

$C_1mr_1$  нижняя пачка (ботомский ярус): 1 — графитизированные известняки; 2 — сланцы серицит-графит-кварцевые, серицит-хлорит-полевошпат-кварцевые графитсодержащие; 3 — метасоматиты хлорит-серицит-анкерит-альбитовые и хлорит-серицит-анкеритовые; 4 —  $C_1mr_1$  (атдабанский ярус) — андезиты, базальты, их туфы, кристаллические зеленые сланцы; 5 — метагаббро; 6 — дайки мелкозернистых габбро; 7 — рудные тела; 8 — канавы и их номера; 9 — скважины и их номера; 10 — номер рудного тела, номер геологического блока, категория ресурсов

ток-северо-востоку от Федоровско-Кедровского рудного поля (центр находится в 72 км от границы территории работ). Это уникальная для района концентрическая структура (радиус >70 км, диаметр внутреннего кольца 46 км) имеет тектономагматогенную природу с развитой системой радиальных линеаментов. В пределах Главной шовной зоны центры кольцевых структур тяготеют к приграничным областям. Федоровско-Кедровское рудное поле находится внутри крупной кольцевой структу-

ры концентрического типа с диаметром внутреннего кольца 30 км, внешнего — ~55 км (см. рис. 1).

Кедровский участок сложен нижнекембрийскими породами мрасской свиты (эффузивы основного состава, известняки, углеродисто-кремнистые сланцы) с послойными внедрениями раннекембрийских интрузий габбро кундустуюльского комплекса.

В ходе поисковых работ установлено, что минерализованная зона на участке вытянута в северо-восточном направлении и представлена крутопа-

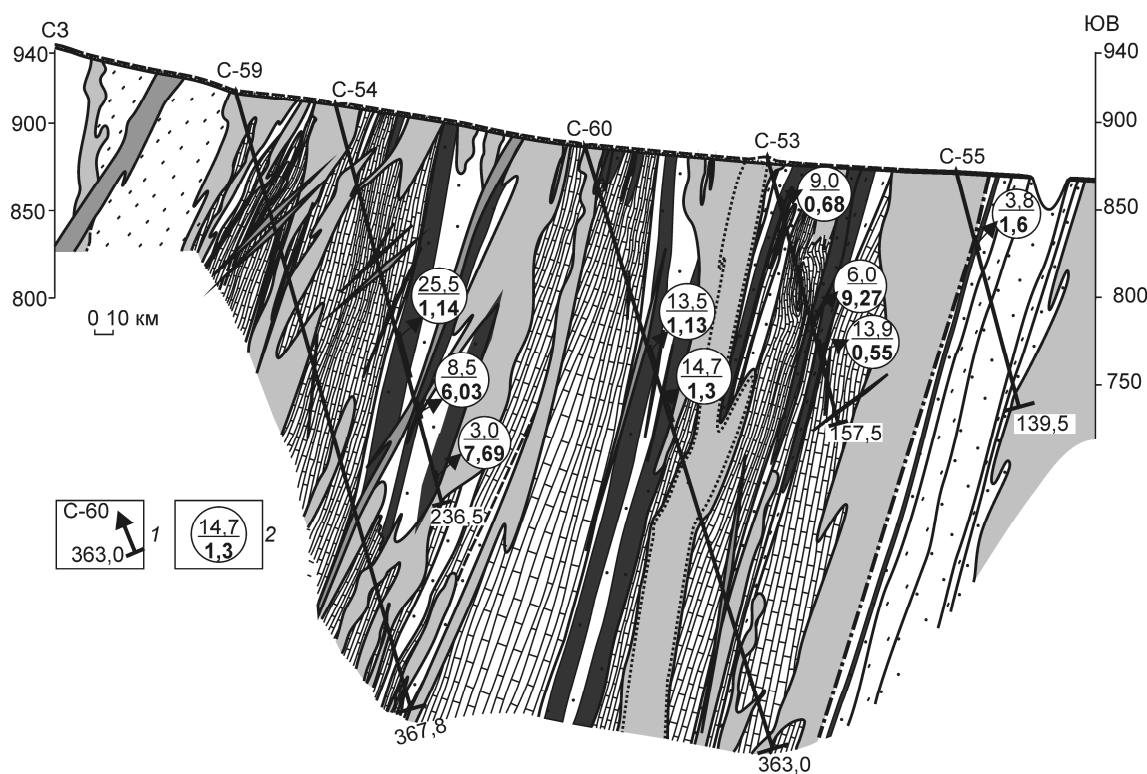


Рис. 3. Геологический разрез Кедровского участка по скважинам 53, 54, 55, 59, 60:

1 — скважины и их номера; 2 — параметры золотоносных интервалов (числитель — видимая мощность, м; знаменатель — содержание Au, г/т); остальные усл. обозн. см. рис. 2

дающими метасоматически проработанными рассланцованными породами, приуроченными к контактам углеродсодержащих известняков с прослоями черных сланцев 1-й пачки верхнемрасской флишевой подбиты и послойных габбро кундустуольского комплекса (рис. 2, 3). Границы минерализованной зоны оконтурены с большой долей условности по наличию интенсивных гидротермально-метасоматических преобразований и слабоконтактных первичных ореолов рассеяния золота.

Рудные тела представлены метасоматитами хлорит-серицит-анкерит-альбитового и хлорит-серицит-анкеритового составов. Визуально это породы светло-серого, серого цвета, сланцеватые, нечеткополосчатые, графитизированные, содержащие мелкую вкрапленность, небольшие скопления и маломощные жилки сульфидов, с поверхности практически всегда лимонитизированные, желто-бурые.

Метасоматиты рассечены различно ориентированными микрожилками кварцевого, кварц-каль-

цитового, кварц-альбитового, реже анкеритового, кварц-альбит-анкеритового составов мощностью 0,1–1,0 мм. Различается кварц, как минимум, двух генераций: ранний слагает кварц-анкеритовые прожилки, которые секутся прожилками более позднего кварца с гребенчатой структурой и крустификационной текстурой. В составе гидротермальных жилков иногда содержится примесь сульфидов, в основном пирита [5]. Значительно реже среди золотоносных метасоматитов встречаются жилы кварца мощностью от первых до нескольких десятков сан-

#### 1. Результаты фазового анализа окисленной руды на золото

Форма нахождения золота	Au, г/т	Распределение Au, %
В свободной форме и в сростании с другими минералами (извлекаемое при цианировании)	0,70	90,91
Не растворимое в цианиде	0,07	9,09
в том числе:		
покрытое пленками оксидов и гидроксидов Fe и заключенное в карбонатах	0,03	3,90
ассоциированное с сульфидами	н/о	н/о
тонковкрапленное в кварце	0,04	5,19
Руда	0,77	100,00

## 2. Результаты фазового анализа первичной руды на золото

Форма нахождения золота	Содержание Au		Распределе- ние Au, %
	мг/л	г/т	
В свободной форме и в сростании с другими минералами (извлекаемое при цианировании)	0,17	0,34	69,39
Не растворимое в цианиде	-	0,15	30,61
в том числе: покрытое пленками оксидов и гидроксидов Fe и заключенное в карбонатах	<0,01	-	-
ассоциированное с сульфидами	-	0,05	10,20
тонковкрапленное в кварце	-	0,10	20,41
Руда	-	0,49	100,00

тиметров. Некоторые из них золотосны. По данным пробирного анализа в кварцевых жилах, вскрытых канавами К-1 в интервале 57,0–58,0 м и К-77 в интервале 61,0–62,0 м, содержание Au 17,15 и 9,9 г/т соответственно.

Линзо-пластообразные рудные тела золотосных березитоподобных метасоматитов нередко «расщеплены» на «хвосты» прослоями известняков и силлами габбро. Кроме того, рудные тела рассекаются дайками мелкозернистых габбро мощностью от первых до десятков метров более крутого северо-восточного простирания, чем основное залегание пород мраморной свиты.

Для установления форм нахождения золота и его взаимосвязи с рудными и породообразующими минералами выполнен фазовый анализ окисленных и первичных руд (табл. 1, 2). Анализ показал, что в окисленных рудах 90,91% золота находится в цианируемой форме, 5,19% связано с породообразующими минералами (кварцем), 3,90% покрыто пленками гидроксидов железа, а также содержится в карбонатах. В первичных рудах в цианируемой

форме находится 69,39% золота, с кварцем и рудообразующими силикатами связано 20,41%, с сульфидами 10,2%.

Форма золотин разнообразная — трубочки, лепешки, проволочки, пластинки, крючки, редко встречаются кристаллы неправильной формы, близкой к октаэдрической. Распределение золота крайне неравномерное. При

опытно-методических работах по выбору сечения борозды для опробования поверхностных горных выработок по канаве 1 были отобраны бороздовые пробы сечением борозды 5×10 и удвоенной борозды 5×20 м. Содержание Au по результатам пробирного анализа в отдельных параллельных сечениях отличались в два и более раз. В результате среднее содержание Au по интервалу рядовых проб составило 4,06 г/т, по интервалу удвоенной борозды — 1,6 г/т. Отдельные содержа-

## 3. Результаты пробирного анализа на золото при разных сечениях борозды

Номера проб	Длина проб, м	Au, г/т	
		сечение борозды 5×10	сечение борозды 5×20
1-142/1-252	1,0	1,25	2,05
1-143/1-253		1,35	12,75
1-147/1-257		8,95	0,8
1-148/1-258		20,35	0,45
1-152/1-262		0,35	1,55
1-156/1-266		74,25	2,05
1-160/1-260		2,75	4,15
1-170/1-280		1,95	0,55
1-171/1-281		0,55	1,05
Всего 31 проба		32,7	4,06

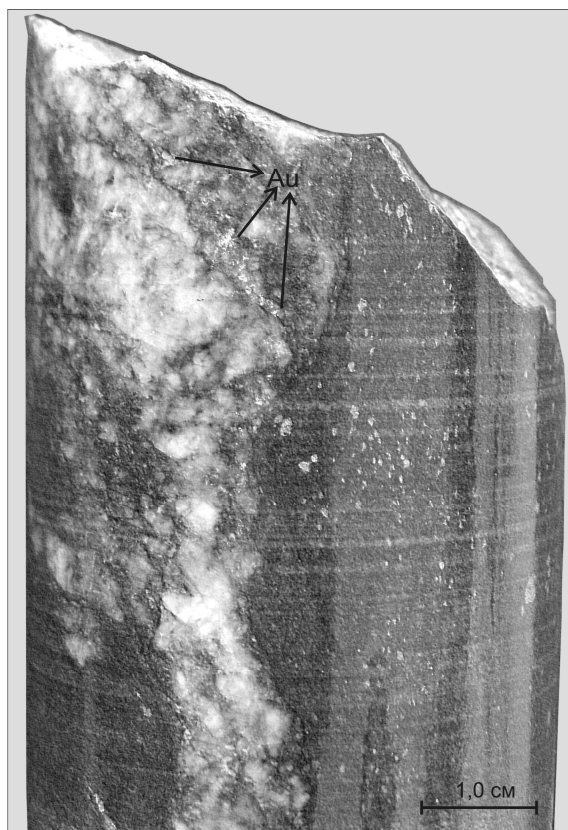


Рис. 4. Видимое золото в керне:

скв. 53, глубина 99,5 м, участок Кедровский



#### 4. Изменение истинной мощности рудных тел и прогнозных ресурсов Au в зависимости от его бортовых содержаний

Бортовое содержание Au, г/т	Истинная мощность (от–до), м	Среднее содержание Au, г/т	Прогнозные ресурсы P <sub>1</sub> Au, т
0,2	4,5–28,4	1,56	30,4
0,4	3,5–28,4	1,84	30,4
0,8	2,9–17,5	2,81	27,3
1,6	0,5–12,4	4,87	26,1

ния Au по бороздовым пробам стандартной и удвоенной борозд приведены в табл. 3. Для заверки полученных данных составлена групповая проба из 31 бороздовой пробы разведочного пересечения (борозда 5×10) за исключением навески массой 1,0 кг, которая использовалась для всевозможных анализов. Масса пробы составила 343 кг. По результатам обогащения групповой пробы со средневзвешенным содержанием Au 4,06 г/т балансовое содержание Au составило 7,62 г/т, при этом размер золотин достигал 8,0 мм.

Неравномерность распределения золота выявлена и при вскрытии рудных тел с поверхности на глубину. Так, на примере поисковой линии 1 (канавы 75, скв. 53, 54) видно, что среднее содержание Au в рудных телах на поверхности и по скважинам различное (см. рис. 3). По рудному телу 1 более богатая руда выявлена с поверхности, среднее содержание Au 4,02 г/т (от 0,44 до 11,5 г/т), а по скв. 54 в интервале 136,0–161,5 м среднее содержание Au 1,14 г/т (от 0,006 до 9,8 г/т). По рудному телу 9, наоборот, на поверхности в рудном интервале мощностью 15,5 м среднее содержание Au 0,88 г/т (от 0,067 до 3,94 г/т), по скв. 53 в интервале 94,0–100,0 м — 9,27 г/т (от 0,92 до 31,95 г/т). На глубине 99,5 м в зальбанде кварцевого прожилка мощностью до 1,0–1,5 см отмечено видимое золото (рис. 4).

В результате проведенных поисковых работ на участке Кедровский выделено 17 рудных тел длиной от 160 до 1200 м по простиранию и от 13 до 210 м по падению. Для различных бортовых содержаний Au определена вероятная истинная мощность рудных тел (см. рис. 4), а также предварительно оценены их прогнозные ресурсы категории P<sub>1</sub> (табл. 4).

В итоге на Кедровском участке по результатам мелкомасштабного дешифрирования выделена наиболее перспективная в металлогеническом отношении юго-восточная приграничная область Главной

зоны. Рудные тела восток–северо-восточного простирания локализованы в нижней пачке верхне-мрасской подсвиты. Распределение золота крайне неравномерное. Золото в рудах свободное, в незначительном количестве связано с сульфидами (магнетит, пирит). Оруденение относится к золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формациям, прослежено буровыми скважинами до глубины 275 м. Руды малосульфидные, окисленные в верхних частях тел (до глубины 60–80 м). Оценены прогнозные ресурсы золота по категории P<sub>1</sub> (см. табл. 4).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алабин Л.В., Калинин Ю.А.* Металлогения золота Кузнецкого Алатау. – Новосибирск: СО РАН, 1999.
2. *Житков В.Г., Ананьев Ю.С., Поцелуев А.А.* Структурная позиция Комсомольской площади Ортон-Балыксинского золотоносного района по материалам космических съемок // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В.А., Усова М.А., Урванчева Н.Н. до наших дней. Томск: Изд-во ТПУ, 2013. С. 169–174.
3. *Коньшев В.О., Севастьянов Е.В., Власов Г.Н.* Месторождение Федоровское-1 и особенности методики разведки объектов с крупными выделениями самородного золота в рудах (Кузнецкий Алатау) // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. Красноярск, 2003. С. 146–156.
4. *Платина и палладий в рудах медно-порфировых месторождений Сибири и Монголии / В.И.Сотников, А.Н.Берзина, М.Эконому-Элипоулос и др.* // ДАН. 2001. Т. 378. № 5. С. 663–667.
5. *Шепель А.Б., Гавриленко М.Е., Лепилин В.П., Белоножко Е.А.* Золотоносные синтетектонические метасоматиты — руды крупнообъемных месторождений золота нетрадиционного типа // Геология и минералогия Сибири. Новосибирск, 2010. С. 45–56.
6. *Щербаков Ю.Г., Рослякова Н.В., Колтаков В.В.* Федоровское месторождение золота и перспективы золотоносности Южно-Сибирской рудной провинции // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 10. С. 979–992.

УДК 550.84:553.261

© С.А.Миляев, 2014

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ БЕРЕГОВСКОГО ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С.А.Миляев (ФГУП «ЦНИГРИ»)

*Рассмотрено прикладное и научное значение анализа геохимической зональности золото-полиметаллического оруденения.*

*Ключевые слова: эпитермальные золото-серебряные месторождения, геохимическая зональность, коэффициент подобия.*

*Миляев Сергей Анатольевич, sermil52@yandex.ru*

## GEOCHEMICAL ZONING OF BEREHOVE GOLD-POLYMETALLIC DEPOSIT

S.A.Milyaev

*Applied and scientific importance of the analysis of geochemical zoning of gold-polymetallic mineralization are discussed.*

*Key words: epithermal gold-silver deposit, geochemical zoning, similarity coefficient.*

Для решения геологических задач, связанных с поисками, оценкой и прогнозом оруденения на глубину, решающее значение имеет наличие первичной геохимической зональности рудных месторож-

дений. Геохимическая зональность — это направленное в пространстве закономерное изменение соотношений между надфоновыми содержаниями или продуктивностями двух или большего числа химических элементов. Задача по выявлению геохимической зональности сводится к отысканию геохимических показателей, однотипно убывающих (или возрастающих) в выбранном направлении в пределах границы первичного ореола основного полезного компонента. Вертикальную (осевую) геохимическую зональность эндогенных, в частности гидротермальных, рудных месторождений отражает последовательный ряд элементов, ранжированных в порядке максимумов их отложения по мере продвижения от подрудных «высокотемпературных» к надрудным «низкотемпературным» горизонтам рудной зоны.

Возможности привлечения геохимической зональности для прогнозной оценки месторождений золото-полиметаллического типа золото-серебряной вулканогенной формации иллюстрируют проведенные работы на Береговском рудном поле (Украинское Закарпатье). Рудное поле расположено во внутренней зоне Карпат вблизи их сочленения с Паннонским срединным массивом [2]. В геологическом строении участвуют образования двух структурных этажей. Нижний этап представлен комплексом предположительно триасово-юрских вулканогенно-осадочных пород, верхний — чередованием неогеновых осадочных и вулканогенных толщ. Участок Береговского месторождения приурочен к восточному борту Береговской палеокальдеры и примыкающему к ней Куклянскому вулканическому горсту, отделенному Береговским разломом северо-западного простирания (рис. 1). Палеокальдера вблизи месторождения заполнена риоли-

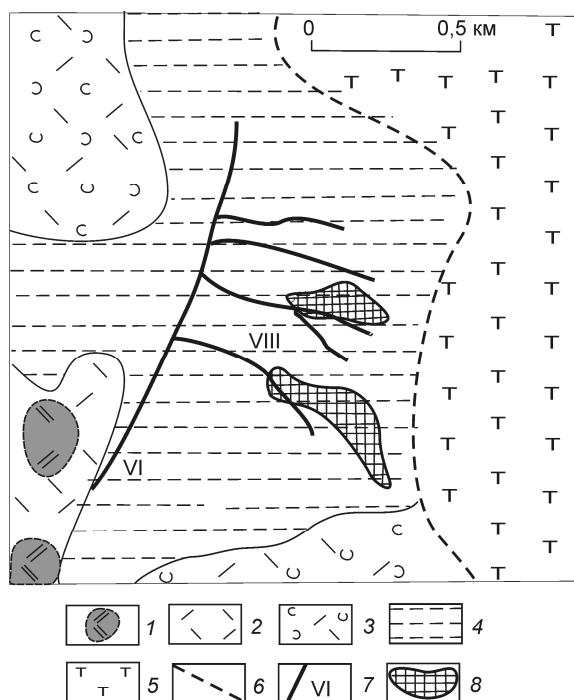
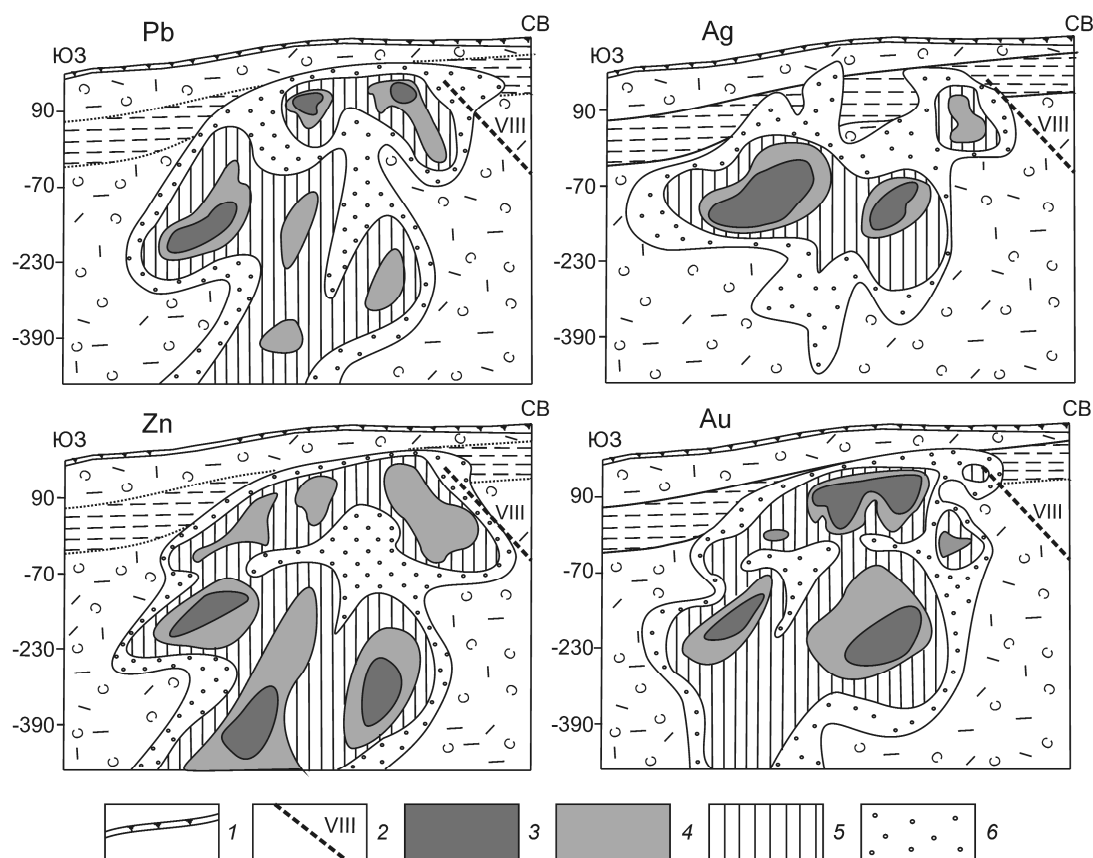


Рис. 1. Схема геологического строения Береговского рудного поля (горизонт +130 м):

1 — экструзивно-купольные тела риолитов; 2 — эффузивные фации экструзий риолитов; толщи: 3 — риолитов, туфов риолитов, 4 — глин, аргиллитов, песчаников, 5 — туфов кислого состава; 6 — разлом в борту вулканотектонического грабена; 7 — жильные рудные тела и их номера; 8 — золотоносные штокверки



**Рис. 2. Продольный вертикальный разрез рудного тела VI с изолиниями линейных продуктивностей рудных элементов:**

1 — элювиально-делювиальные отложения; 2 — проекция VIII рудного тела; линейная продуктивность: 3 — Pb 20–10, Zn 50–20 м%, Ag >500, Au >20 мг/т, 4 — Pb <10–5, Zn <20–10 м%, Ag 500–100, Au 20–10 мг/т, 5 — Pb <5–2, Zn <10–5 м%, Ag <100–50, Au <10–5 мг/т, 6 — Pb <2–1, Zn <5–2 м%, Ag <50–20, Au <5–2 мг/т; остальные усл. обозн. см. рис. 1

тами и их туфами, вмещающими основную массу золото-полиметаллических руд.

Рудные тела, находящиеся в слепом залегании, приурочены к серии разрывных нарушений северо-восточного (Береговский участок) и северо-западного (Мужиевский участок) направлений. По морфологии выделяются два главных типа рудных тел: жилы и жильные зоны; штокверки. Первый тип характерен для основной массы рудных тел Береговского, а также средних и глубоких горизонтов Мужиевского участков. Второй свойствен только верхним горизонтам Мужиевского участка. Жилы и жильные зоны сложены кварц-колчеданно-полиметаллической минерализацией с самородным золотом. Штокверки образуют изометричные в плане тела, сходящиеся с глубиной на конус. Они развиты в составе кварц-каолинит-диккитовых метасоматитов в виде сети тончайших прожилков и вкрапленности кремневидного кварца с баритом и самородным золотом [9].

Несмотря на некоторые различия в геологических и морфологических особенностях оруденения, жильные рудные тела Береговского месторождения по геохимическому составу рассматриваются как генетически однотипные, что подтверждается близостью рядов вертикальной последовательности отложения рудных элементов и наличием у них общих показателей зональности. Анализ «центров тяжести» графиков парных отношений между содержаниями (продуктивностями) химических элементов [3] позволил получить частные ряды зонального отложения для золото-полиметаллических жильных тел Береговского и Мужиевского участков, по которым составлен обобщенный ряд вертикальной (осевой) зональности (снизу вверх): W – Bi – Cu – Zn – Cd – Pb – Mo – As – Ag – Au – Sb – Ba – Hg. Приведенный ряд близок к ряду зональности Береговского месторождения, полученному ранее (И.М.Церман, 1984 г.).

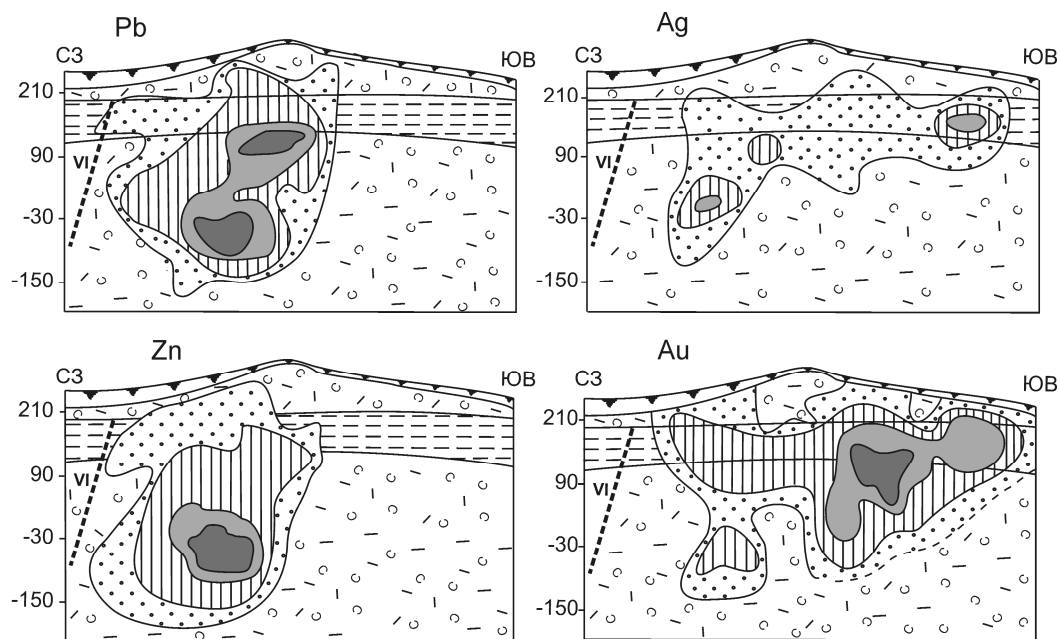


Рис. 3. Продольный вертикальный разрез рудного тела VIII с изолиниями линейных продуктивностей рудных элементов:

усл. обозн. см. рис. 1, 2

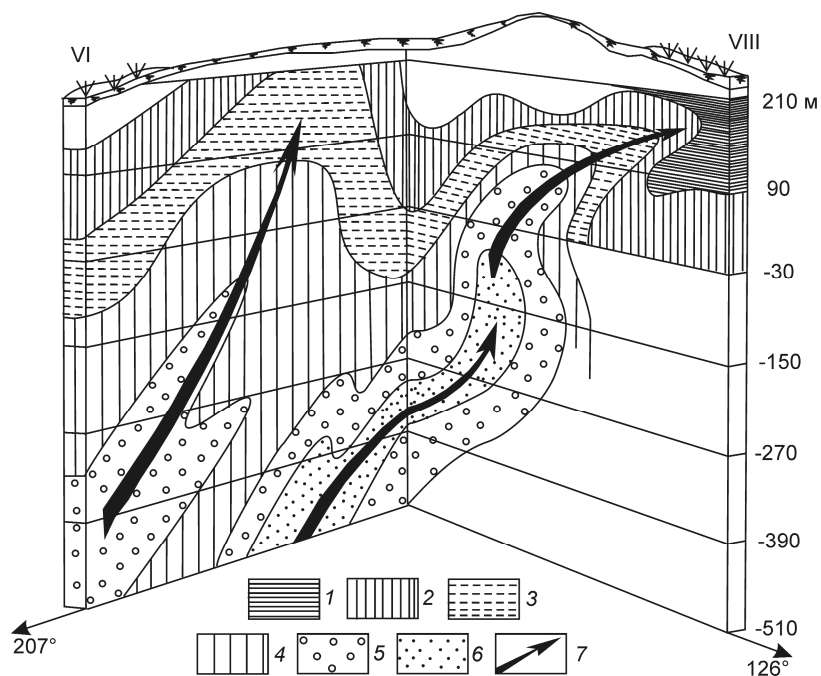


Рис. 4. Блок-диаграмма сопряженных рудных тел VI и VIII с изолиниями геохимического показателя  $v = \text{Au} \cdot \text{Ag} / \text{Pb} \cdot \text{Zn}$ :

значения геохимического показателя: 1 —  $>1 \cdot 10^{-4}$ , 2 —  $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$ , 3 —  $<1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-6}$ , 4 —  $<1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-7}$ , 5 —  $<1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-8}$ , 6 —  $<1 \cdot 10^{-8}$ ; 7 — предполагаемые направления движения гидротерм

По программе «Нью-2» [6] выявлены монотонные убывающие показатели зональности (v), имеющие большой размах по падению жильных рудных тел ( $\text{Ag} \cdot \text{Au} / \text{Cu} \cdot \text{Zn}$ ,  $\text{Sb} \cdot \text{Ba} / \text{Zn}^2$ ,  $\text{Hg} \cdot \text{Au} / \text{Zn}^2$ ,  $\text{Ag} \cdot \text{Au} / \text{Pb} \cdot \text{Zn}$  и др.). Пригодность полученных показателей зональности для прогнозной оценки уровней оруденения проверялась путем их таксации по смежным разрезам, не входившим в исследование зональности. Результаты свидетельствуют о том, что выбранные геохимические показатели идентифицируют рудные пересечения по их гипсометрическому положению в разрезе месторождения с доверительным интервалом оценок  $\pm 25-30$  м.

Практическое и научное значение при геохимических поисках и оценке коренного оруденения может иметь рассмотрение геохимической зональности в плоскости рудных

тел. Для изучения были взяты продольные проекции двух жильных зон Береговского (жила VI) и Мужиевского (жила VIII) участков. Исходными данными служили результаты химического анализа на Pb, Zn, Cu, Ag и химико-спектрального — на Au, по которым установлено распределение линейных продуктивностей рудных компонентов в продольных сечениях рудных тел (рис. 2, 3).

По этим данным рассчитаны значения геохимического показателя зональности  $v = \text{Ag} \cdot \text{Au} / \text{Pb} \cdot \text{Zn}$ . Геохимическая зональность в плоскостях сопряжения жильных полиметаллических тел VI и VIII представлена в виде блок-диаграммы (рис. 4). На продольных сечениях в изолиниях геохимического показателя отчетливо фиксируются направления векторов зональности. Изолинии отвечают условным изотермам рудоотложения, а нормали к изолиниям характеризуют предполагаемое направление движения гидротерм с юго-запада на северо-восток (рудное тело VI) с последующим разворотом в юго-восточном направлении (рудное тело VIII).

По данным В.Б.Чекваидзе и И.З.Исакович, «обращает на себя внимание активная раствороподводящая роль экструзивных куполов, расположенных в юго-западной части Береговского рудного поля, с приближением к которым резко возрастает мощность зоны адуляризации. Если учесть, что эта зона развита лишь на рудоносных участках и адуляр выступает как минерал предрудных и синрудных парагенезисов, то следует признать тесную связь процессов адуляризации с золото-полиметаллическим оруденением» [9] с общей направленностью векторов минералогической и геохимической зональности от куполов в сторону Береговского месторождения.

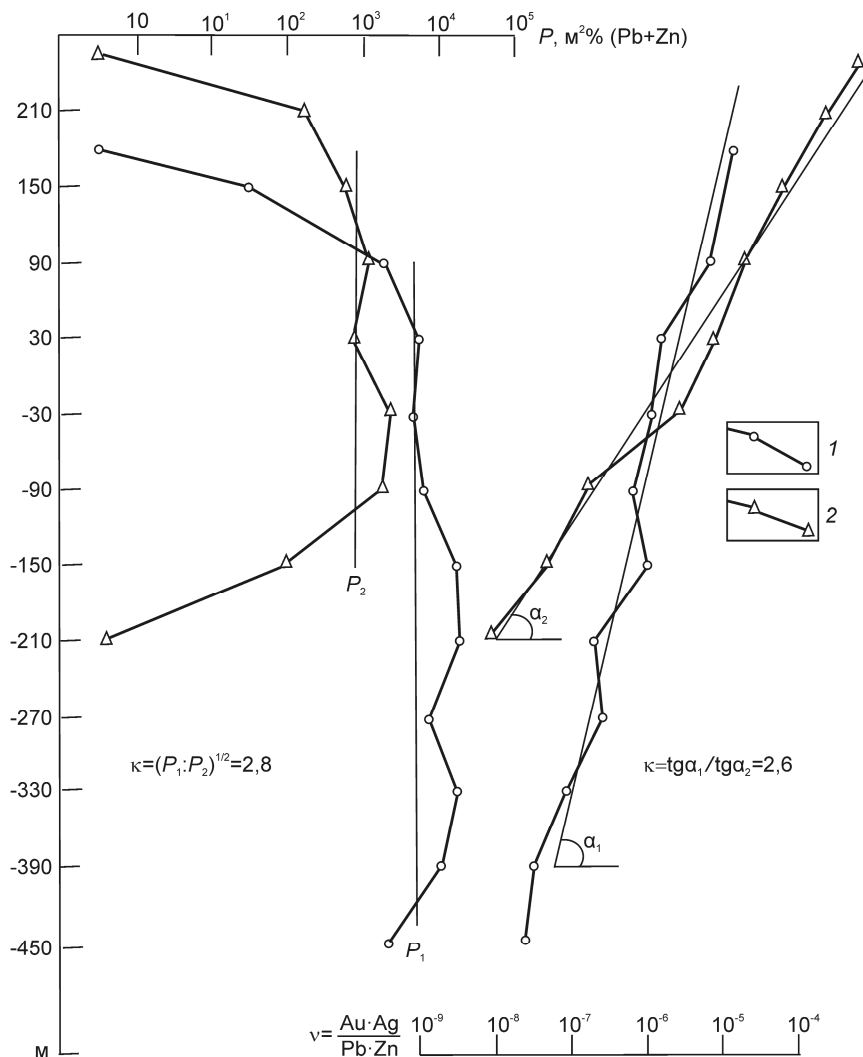


Рис. 5. Графики изменения геохимических параметров  $v = \text{Au} \cdot \text{Ag} / \text{Pb} \cdot \text{Zn}$  и  $P$  ( $\text{m}^2\%$ ) с оценками коэффициентов подобия:

графики  $v$  и  $P$ : 1 — рудное тело VI, 2 — рудное тело VIII

Для прогнозной оценки изучаемых объектов привлекается принцип подобия — важнейшее положение методики геохимических поисков рудных месторождений, согласно которому генетически однотипные месторождения различной крупности рассматриваются в качестве геометрических и геохимических фигур подобия [3, 6]. Геохимическое подобие генетически однотипных объектов различной крупности проявляется в одинаковых содержаниях основных рудных элементов и элементов-спутников в одинаковых сечениях рудной зоны по отношению к ее центру, верхней или нижней выклинке оруденения. Важнейшим следствием принципа подобия для методики геохимических поисков является то, что для генетически однотипных объектов численные значения конкрет-

ного геохимического показателя зональности  $v$  одинаковы в одноименных точках рудной зоны [4]. При этом графики  $v=f(z)$ , построенные в полулогарифмическом масштабе, будут характеризоваться различными углами наклона  $\alpha$ . Крупным объектам свойствен более крутой наклон графиков показателей зональности (слабоконтрастная вертикальная зональность), мелким — более пологий угол наклона графика  $v$  (контрастная вертикальная зональность). В этом случае отношение тангенсов соответствующих углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , образованных осредненными графиками  $v$  с осью абсцисс, будет определять соотношение между размерами двух сравниваемых объектов через коэффициент подобия [6, 7]  $k=\operatorname{tg}\alpha_1/\operatorname{tg}\alpha_2$ , где  $k$  — коэффициент подобия.

При отсутствии принципиальных геохимических отличий между двумя объектами устанавливаются следующие соотношения между их полной вертикальной протяженностью [3, 6]:  $H_1=k\cdot H_2$ .

Теоретическая модель эндогенного рудообразования [1, 5, 8] предполагает наличие интервала промышленных руд со сравнительно постоянной продуктивностью оруденения. Этот признак позволяет в рудном интервале получать независимую оценку коэффициента подобия для двух сравниваемых объектов:  $k=(P_1:P_2)^{1/2}$ , где  $P_{1,2}$  — средняя площадная продуктивность в горизонтальных сечениях в интервале промышленных руд для двух объектов.

На рис. 5 приведены графики изменений площадных продуктивностей и показателя зональности по падению рудных тел VI и VIII, а также оценки  $k$ , полученные с помощью этих параметров. Средняя величина коэффициента подобия  $k$  по результатам двух оценок — 2,7. С учетом вертикальной протяженности рудного тела VIII (300 м) через коэффициент подобия можно определить общий размах оруденения жильного тела VI, который составит 800 м (абсолютная отметка глубины -710 м).

Для жил и жильных зон Береговского месторождения отмечается близкая последовательность отложения элементов в достаточно сходных условиях рудоотложения. Это позволяет производить количественную оценку выявляемых объектов рудного поля путем сопоставления их геохимических характеристик с параметрами эталонного месторождения.

Рудные тела Береговского рудного поля, относящиеся к высокосульфидному типу эпитеpmальной золото-серебряной формации, формировались при активном участии экстрезивно-купольных тел

риолитов, по-видимому, служащих проводниками тепла и минерализованных растворов [9]. На это указывает общее направление векторов минералогической и геохимической зональности от куполов в сторону Береговского месторождения.

Результаты прогнозных оценок с помощью коэффициента подобия на основе геохимической зональности рудных тел Береговского месторождения свидетельствуют о реальности этого параметра. На разных стадиях геологического и геохимического изучения рудопроявлений к прогнозной оценке может привлекаться коэффициент подобия, определяемый по величинам отношений между основными характеристиками оцениваемых и эталонных объектов. На основе принципа подобия решаются многие другие задачи при геохимических поисках.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Квятковский Е.М.* Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. — Л.: Недра, 1981.
2. *Лазаренко Э.А., Гнилко М.К., Зайцева В.Н.* Металлогения Закарпатья. — Львов: Изд. Львовского ун-та, 1968.
3. *Матвеев А.А., Соловов А.П.* Геохимические поиски месторождений полезных ископаемых. — М.: КДУ, 2011.
4. *Миляев С.А.* Геохимические критерии прогнознoй оценки золоторудных месторождений по данным анализа эндогенной зональности // Руды и металлы. 2013. № 6. С.72–76.
5. *Сафронов Н.И.* Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. — Л.: Недра, 1971.
6. *Соловов А.П.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1985.
7. *Соловов А.П., Миляев С.А.* Оценка генетически однотипных месторождений по  $v, M$  // Состояние и задачи геохимических поисков рудных месторождений в Казахстане. Алма-Ата, 1981. С. 213–219.
8. *Теоретические основы геохимических методов поисков слепых рудных тел / А.П.Соловов, А.В.Гаранин, В.С.Голубев и др.* // Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1971. С. 245–297.
9. *Чекваидзе В.Б., Исакович И.З.* Модель сопряжения жильных полиметаллических и штокверковых золотых руд в эпитеpmальной зоне на примере Береговского рудного поля // Руды и металлы. 2006. № 4. С. 6–13.

# АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 534.222.2

© С.А.Бахарев, 2014

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА САПОНИТСОДЕРЖАЩУЮ ВОДНУЮ СИСТЕМУ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**С.А.Бахарев (индивидуальный предприниматель, г. Москва, Россия)**

*Результаты промышленных испытаний разработанной установки комплексного воздействия на оборотную воду обогатительной фабрики алмазодобывающего предприятия в условиях карты намыва с геометрическими размерами 307×37×3,7 м показали, что при расходе оборотной промышленной воды ~250 м<sup>3</sup>/ч содержание шламовых частиц в ней сократилось с 100–200 до 0,16–0,32 г/л. Рекомендуется использовать данную установку не только для очистки оборотной промышленной воды на картах намыва, но и для уплотнения сапонитсодержащего осадка в них с возможностью его последующего извлечения для дальнейшей переработки и реализации.*

*Ключевые слова: алмазы, алмазодобывающее предприятие, акустическое воздействие, обогатительная фабрика, извлечение алмазов.*

*Бахарев Сергей Алексеевич*

## THE ACOUSTIC SAPONITE-BEARING RECYCLING WATER TREATMENT AT THE CRUSHING MILL OF A DIAMOND MINE: RESULTS OF INDUSTRIAL TESTS

**S.A.Bakharev**

*Results of commercial tests of the crushing mill complex water treatment unit used in the hydraulic fill map with dimensions 307×37×3,7 m demonstrated that at discharge rate of recycling water of ~250 m<sup>3</sup>/h its suspended solid content decreased from 100–200 to 0,16–0,32 g/l. Usage of the unit is recommendable both in the recycling water treatment and consolidation of saponite-bearing precipitate with further extraction of the latter as a commercial product.*

*Key words: diamonds, diamond mine, acoustic effects, a processing plant, the extraction of diamonds.*

Характерной особенностью месторождений алмазов в Архангельской области (месторождение им. М.В.Ломоносова и др.) является высокое содержание минералов монтмориллонитовой группы. В водной среде данные глинистые минералы (например, сапонит) образуют тонкодисперсную гелеобразную суспензию, размер частиц которой <5–7 мкм, вследствие чего скорость их осаждения низкая. Это создает большие сложности при обеспечении замкнутого водооборота на обогатительных фабриках [4].

Особенно остро недостаток осветленной воды отмечается в период ледостава на хвостохранилище, когда концентрация глинистых шламов в оборотной воде превышает 50–100 г/л. В это время увеличивается ее вязкость, плотность и, как следствие, снижается извлечение алмазов в процессах тяжелосредной и рентгенолюминесцентной сепараций, повышается потребление чистой природной воды, сокращается срок службы оборудования и снижается экологическая безопасность производства в целом.

Таким образом, актуальность проблемы эффективной очистки шламодержащих вод для алмазодобывающих предприятий обусловлена следующими обстоятельствами:

нарушением технологических процессов переработки алмазосодержащего сырья, приводящим к снижению извлечения ценных кристаллов;

снижением безопасности работ при эксплуатации и обслуживании оборудования;

повышенным износом технологического и вспомогательного оборудования, а также расходами материалов;

завышенными эксплуатационными затратами из-за высокой плотности и вязкости технических вод, циркулирующих в технологических процессах;

отсутствием возможности увеличения производительности фабрики без увеличения проектной (разрешенной) площади;

негативным влиянием на окружающую среду.

Испытанные за последние десять лет известные (гравитационные, фильтрационные, реагент-

### 1. Гранулометрический состав шламовых частиц в сбрасываемой на карту намыва пульпе

Класс крупности, мм	+2	-2+1,7	-1,7+1,4	-1,4+1,2	-1,2+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,2	-0,2	Итого
Содержание ШЦ, %	-	-	0,137 (0,76)	0,146 (0,81)	0,155 (0,86)	2,153 (11,97)	0,281 (1,56)	97,129 (540,0)	100 (555,97)

Примечание. В скобках содержание в граммах.

ные и др.) способы извлечения алмазов и применяемое оборудование не позволили решить проблему осветления оборотных вод алмазодобывающих предприятий в Архангельской области. Для решения данной проблемы в сентябре 2013 г. на карте намыва с геометрическими размерами 307×37×3,7 м в строго контролируемых условиях были проведены промышленные испытания установки комплексного акустического воздействия (УКАВ-ов) на оборотную воду ОФ алмазодобывающего предприя-

тия [5–10]. В процессе ее использования при намыве карты по длине пляжной зоны осуществляются акустическая коагуляция, акустическое (принудительное) и гравитационное осаждение, акустическое уплотнение тела пляжа с пофракционным разделением хвостовой пульпы. При этом в центральную зону карты намыва попадает суспензия с меньшим количеством песчаной фракции, так как она осаждается в пляжной зоне. Из-за малого уровня оборотной воды (0,5–1,0 м) и большого содержания в ней шла-

### 2. Оборудование для акустического осветления оборотных вод ОФ на карте намыва с геометрическими размерами 307×37×3,7 м

№№ п/п	Наименование оборудования	Число, шт.	Мощность, кВт/ч		Стоимость, тыс. руб. (без НДС)	
			Ед.	Всего	Ед.	Всего
1	Генератор сигналов специальной формы («GFG-18A»)	3	0,05	0,15	30	90
2	Двухканальный цифровой усилитель мощности с блоком согласования («EP-4000»)	6	0,50	3,0	180	1080
3	Гидроакустический излучатель НЗД частот (ЦГИ-ПБ-1)	6	-	-	210	1260
4	Гидроакустические излучатели СЗД частот (ЦГИ-ПБ-2)	4	-	-	180	720
5	Гидроакустические излучатели ВЗД частот (ЦГИ-ПБ-3)	2	-	-	150	300
6	Геофизический кабель КГИ-2 (1,2 км: 12×100 м) с подводными муфтами (12 шт.)	12	-	-	20	240
Итого (основное оборудование)				3,15		3690
Термошкафы (1,5×1,5×2,0) для размещения электронных приборов		2	0,5	1,0	200	400
Понтоны с якорно-поплавковыми устройствами		6	-	-	25	150
Итого (дополнительное оборудование)				1,0		550
ИТОГО (оборудование)				4,15		4240

Примечание. Суммарные затраты на потребление электроэнергии составят ~99 кВт/сут. (или ~36 тыс. кВт/год). При отсутствии стационарного электропитания потребуются два дизель-генератора с электрической мощностью не менее 5 кВт каждый.





**Рис. 1. Внешний вид карты намыва:**

*a* — верхняя часть карты; *б* — нижняя часть карты; *в* — сливные трубы на выходе

мовых частиц используются только направленные (навстречу движению пульпы) гидроакустические излучатели (три штуки при данной ширине карты намыва) низкого звукового диапазона (НЗД) частот от 0,2 до 2,0 кГц.

В табл. 1 приведен гранулометрический состав шламовых частиц (ШЧ), находящихся в сбрасываемой с торца пульповода на карту намыва оборотной воде (пульпе) с расходом  $\sim 250$  м<sup>3</sup>/ч. Их основная масса (>97%) была представлена мелким классом - 0,2 мм, другая (содержащая более крупные частицы) часть пульпы (с расходом  $\sim 250$  м<sup>3</sup>/ч) сбрасывалась через выпуск непосредственно в хвостохранилище ОФ.

В процессе использования УКАВ-ов в средней части карты намыва происходили акустическая коагуляция, акустическое осаждение и акустическое уплотнение осадка. По этой причине в нижнюю часть карты намыва (своеобразный пруд-отстойник) попадает суспензия с относительно малым количеством шламовых частиц, эффективно укрупняющихся и осаждающихся в центре пляжной зоны. При этом из-за относительно малого уровня оборотной воды (1,0–1,5 м) при данной ширине

карты намыва используются только два ненаправленных гидроакустических излучателя — низкого и среднего (СЗД) звукового диапазона частот от 2,0 до 12,0 кГц.

В нижней части карты намыва также осуществляются акустическая коагуляция, акустическое осаждение и акустическое уплотнение осадка. Поэтому в сливах с карты намыва содержится минимальное количество шламовых частиц. В этом случае применяются ненаправленные гидроакустические излучатели (при данной ширине карты намыва — по 2 шт.) НЗД, СЗД и верхнего (ВЗД) звукового диапазона частот — выше 12,0 кГц.

В табл. 2 в соответствии с технологической схемой работы данной карты намыва (200 м<sup>3</sup>/ч) перечислен комплект основного и вспомогательного оборудования УКАВ-ов (цены на 01.01.2014 г.).

На карте намыва, построенной в непосредственной близости от хвостохранилища ОФ (рис. 1, *a–в*), видно, что до начала работ по промышленным испытаниям УКАВ-ов оборотная вода в нижней части карты в зоне отстаивания (см. рис. 1, *б*) и на выходе сливных труб (см. рис. 1, *в*) отличалась высокой мутностью. По данным количественных измерений



**Рис. 2. Элементы стационарного модуля акустической установки:**

*a* — внешний вид помещения; *б* — внутренний вид помещения; *в* — плот с излучателем



Рис. 3. Внешний вид оборотной воды на карте намыва:

*a* — нижняя часть карты; *б* — район водозабора карты; *в* — сливная труба

содержание ШЧ на среднем горизонте (0,4 м) составляло в среднем 3,31 г/л, а на верхнем (0,2 м) — 1,26 г/л.

На рис. 2 иллюстрируются некоторые элементы стационарного модуля УКАВ-ов, имеющие относительно небольшие весогабаритные характеристики.

Промышленные испытания УКАВ-ов выполнялись в три этапа. На первом и третьем этапах акустическое излучение не производилось, а карта намыва функционировала в своем штатном режиме. Методика промышленных испытаний также предусматривала сброс с карты намыва всей массы осветленной воды после окончания второго и третьего этапов. Переход от первого ко второму этапу осуществлялся плавно с полным сохранением коэффициента водообмена на карте намыва. Высота столба оборотной воды на карте намыва в процессе ее штатного функционирования в районе

слива составляла 0,8 м, в то время как на втором этапе — 0,4 и 0,6 м при скорости ветра <3–5 м/с и >5–10 м/с соответственно. Слой сбрасываемой осветленной (содержание шламовых частиц не более 0,25–0,5 г/л) воды на втором этапе всегда составлял 0,2 м.

В процессе промышленных испытаний УКАВ-ов мутность оборотной воды существенно уменьшилась (рис. 3, б, в) по сравнению с ее гравитационным осветлением (рис. 4). По данным количественных измерений содержание ШЧ на среднем горизонте составляло 0,32, на верхнем — 0,16 г/л.

В табл. 3 приведены основные результаты испытаний на данном этапе в виде среднего содержания взвешенных веществ (г/л) в сливах воды с различных горизонтов карты намыва. За счет применения УКАВ-ов на карте намыва содержание ШЧ в верхнем (0,2 м) слое слива оборотной воды было уменьшено на 1,104 г/л (эффект разработанного метода 87,3%), а в среднем (0,4 м) слое — на 2,993 г/л (эффект разработанного метода 90,3%). Определенный практический интерес представляют результаты ситового анализа осадка при гравитационном осаждении и после акустического воздействия. В табл. 4 представлено процентное содержание ШЧ в осадке в зависимости от классов крупности и способа его уплотнения.

Как показал анализ данных табл. 4, существенное увеличение доли крупнодисперсных частиц

### 3. Среднее содержание взвешенных веществ (г/л) в пробах воды, отобранных в различных точках хвостохранилища

Режим работы	Горизонт от поверхности, м			Ветер, м/с
	0,2	0,4	0,6	
Без акустики	1,264	3,313	4,420	<3–5
С акустикой	0,160	0,320	0,359	
Разница, г/л (выигрыш, %)	1,104 (87,3)	2,993 (90,3)	4,061 (91,9)	

### 4. Процентное содержание шламовых частиц в осадке в зависимости от классов крупности и способа его уплотнения

Режим работы	Класс крупности, мм							
	+2	-2+1,7	-1,7+1,4	-1,4+1,2	-1,2+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,2	-0,2
С акустикой	20,7	1,65	3,07	2,13	2,60	13,62	26,30	29,84
Без акустики	-	-	0,13	2,12	5,15	12,15	20,28	60,17
Разница, %	+20,7	+1,65	+2,94	+0,01	-2,55	+1,47	+6,02	-30,33



**Рис. 4. Последствия гравитационного осветления оборотной воды на карте намыва:**

*a* — низ правого борта; *б* — низ центра карты; *в* — низ левого борта

(+2 мм) на 20,7% и существенное уменьшение доли мелкодисперсных (-0,2 мм) на 30,33% после акустического воздействия на пульпу подтверждает факт акустической коагуляции исходных.

При гравитационном осветлении оборотной воды, сбрасываемой на карту намыва с ОФ синхронно со сливом ее верхнего слоя, слой чистой воды занимает незначительную (>20%) часть воды, сброшенной с карты намыва, и составляет <0,15 м (см. рис. 4, б). При этом реальный слой чистой воды, находящейся в карте намыва, составлял <0,05 м. На тех же участках бортов карты намыва после акустического осветления оборотной воды (рис. 5) слой чистой воды занимает значительную (>75%) часть воды, сброшенной с карты намыва, и составляет не менее 0,6 м.

Акустически структурированный сапонитсодержащий осадок имеет другие вязкость и уплотнение (рис. 6). По структуре он напоминает «мягкий пластилин» (см. рис. 6, в), а не «грязную воду», как при гравитационном методе очистки оборотной воды на карте намыва.

Опираясь на полученные в контролируемых условиях экспериментальные результаты, сформулируем следующие предварительные выводы.

При использовании УКАВ-ов на экспериментальной карте намыва с геометрическими размерами 307×37×3,7 м, уровнем зеркала воды в ее нижней части 0,8 м, при расходе пульпы ~250 м<sup>3</sup>/час, сбрасываемой на пляж карты намыва синхронно со сливом осветленной воды, удалось в одном технологическом процессе снизить содержание шламовых частиц в верхнем (0,2 м) слое воды с 1,264 до 0,16 г/л (в 7,9 раза), среднем (0,4 м) — с 3,313 до 0,32 г/л (в 10,4 раза), нижнем (0,6 м) — с 4,420 до 0,359 г/л (в 12,3 раза).

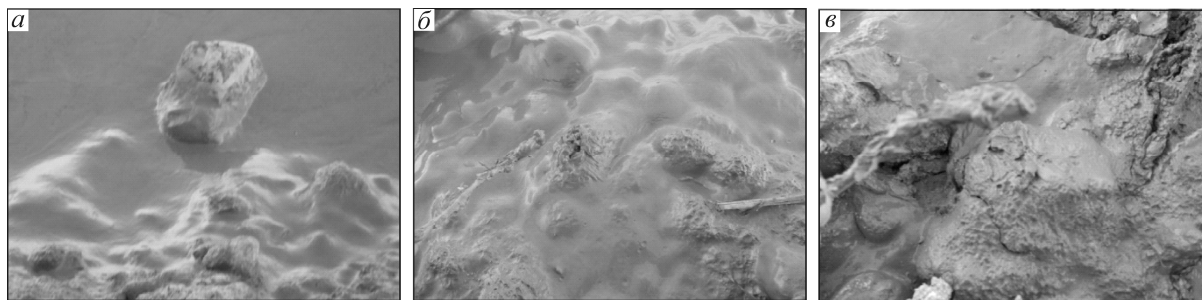
В наиболее благоприятных погодных условиях (скорость ветра до 10 м/с) с помощью УКАВ-ов удалось осветлить 50% слоя воды (0,4 м при глубине места 0,8 м) до содержания ШЧ в ней <0,5 г/л. В менее благоприятных погодных условиях (скорость ветра >10 м/с) удалось осветлить 30% слоя воды (0,3 м при глубине места 0,8 м). Сброс осветленной воды производился одновременно с подачей пульпы на карту намыва.

Для очистки оборотных вод от ШЧ при помощи УКАВ-ов до показателя, не превышающего 0,5 г/л (при требуемых технологическим процессом не более 5 г/л), расходе пульпы ~250 м<sup>3</sup>/ч и исходном содержании в пульпе ШЧ ~150 г/л



**Рис. 5. Последствия акустического осветления оборотной воды на карте намыва:**

*a* — низ правого борта; *б* — низ центра карты; *в* — низ левого борта



**Рис. 6. Внешний вид сапонитсодержащего осадка:**

*а* — частично погруженный камень; *б* — дно карты намыва; *в* — фрагмент дна карты

суммарный расход электроэнергии УКАВ составил  $<0,5 \text{ Вт/м}^3$ .

Масса и структура (вязкость, плотность и др.) сапонитсодержащего осадка, выпавшего в осадок на дно карты намыва и ее борта после комплексного акустического воздействия на пульпу, позволяют говорить о возможности его промышленного извлечения с помощью УКАВ-ов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бахарев С.А., Максимова И.С.* Новая технология безреагентной очистки сточных вод от взвешенных веществ // Всерос. НТК «Сохранение биоразнообразия Камчатки». Петропавловск-Камчатский, 2005. С. 25–28.
2. *Бахарев С.А., Максимова И.С.* Результаты использования безреагентной технологии очистки сточных вод от взвешенных веществ на участке «Пенистый» ЗАО «Корякгеолдобыча» // Всерос. НТК «Сохранение биоразнообразия Камчатки». Петропавловск-Камчатский, 2006. С. 31–35.
3. *Бахарев С.А.* Результаты использования акустического метода очистки сточных вод от взвешенных веществ в бассейне нерестовых рек Камчатки // Вестник XXI. Разведка, добыча, переработка полезных ископаемых. М.: Интермет Инжиниринг, 2007.
4. *Бахарев С.А.* Акустика в горной промышленности. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH, 2013.
5. *Бахарев С.А.* Способ очистки и обеззараживания оборотных и сточных вод. Патент РФ № 2280490, 2005 г., опубл. 27.07.2006, Бюл. № 21.
6. *Бахарев С.А.* Способ безреагентной очистки оборотных и сточных вод от взвешенных веществ. Патент РФ № 2290247, 2005 г., опубл. 27.12.2006, Бюл. № 36.
7. *Бахарев С.А.* Способ очистки воды от взвешенных веществ. Патент РФ № 2330705, 2006 г., опубл. 10.08.2008, Бюл. № 22.
8. *Бахарев С.А.* Способ очистки воды от взвешенных веществ. Патент РФ № 2331455, 2006 г., опубл. 23.08.2008, Бюл. № 22.
9. *Бахарев С.А.* Способ очистки воды от водорослей и взвешенных веществ. Патент РФ № 2380181, 2008 г., опубл. 10.02.2010, Бюл. № 4.
10. *Бахарев С.А.* Способ очистки и обеззараживания воды. Патент РФ № 2487838, 2011 г., опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.

# ДИСКУССИИ

УДК 553.4:550.84

©И.И.Силин, 2014

## ГЕОСТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

И.И.Силин (ИМГРЭ Роснедра Минприроды России)

*Для оценки прогнозных ресурсов по данным геохимического опробования используются параметры, разработанные для подсчета промышленных запасов: промышленное содержание, объем рудного блока, коэффициент рудоносности. Ограниченное число проб и низкое содержание полезного компонента в исходных поисковых данных затрудняют определение указанных параметров, поэтому вместо них вводятся относительные величины, количественно связанные с параметрами промышленных месторождений. Приведены примеры применения метода.*

*Ключевые слова: прогнозные ресурсы, коэффициент промышленной концентрации, коэффициент промышленной рудоносности.*

*Силин Игорь Иванович, igorivsil@gmail.com*

## GEOSTATISTICAL ESTIMATION OF PROGNOSTIC RESOURCES USING GEOCHEMICAL SURVEY DATA

I.I.Silin

*Method of prognostic resources estimation using geochemical survey data employs the same parameters as calculation of economic reserves, i.e., cutoff grade, block volume and factor of mineralization. Since the source geochemical survey data contain a small proportion of mineralized samples and the metal grade is low, these are substituted by arbitrary values quantitatively related to parameters of economic deposits. Relevant case histories are presented.*

*Key words: undiscovered resources, economic concentration factor, economic ore potential factor.*

Усредненная доля (доли единицы) в наименьшей рентабельной цене первого товарного продукта, приходящаяся на прогнозных ресурсы и запасы различных категорий, приведена в табл. 5 справочника «Богатство недр России» [2]. По данным этой таблицы, усредненная доля затрат на получение ресурсов категории  $P_2$  и запасов категории  $C_2$  составляет сотые доли от товарной стоимости продукта, а в каждой последующей стадии работ существенно возрастает. Следовательно, чем раньше выбран перспективный объект, тем большую прибыль можно получить в результате его освоения. По этой причине наблюдается интерес инвесторов к более ранним стадиям геологоразведочного процесса. При удачном выборе перспективного участка по материалам среднемасштабных геологических съемок сравнительно невысокие затраты на поисковые работы позволяют быстро получить прирост ресурсов и запасов низких категорий. Тем самым, перспективный участок переходит в категорию потенциального промышленного месторождения. Рыночная цена его многократно возрастает.

Однако риск ошибочного выбора участка на ранней стадии поисковых работ особенно высок.

Он обусловлен рядом причин, приводящих в конечном счете к неверной оценке его прогнозных ресурсов [1]. Действующие «Инструкции», «Методические руководства» и «Требования», разработанные еще в прошлом веке, часто стеной стоят на пути современных методов, основанных на рыночной экономике геологоразведочных работ.

Применяемый для вычисления прогнозных ресурсов и запасов низких категорий математический аппарат не учитывает пространственную изменчивость рудных характеристик, что особенно свойственно месторождениям золота. Поэтому многие частные компании для подсчета запасов предпочитают обращаться к экспертам, использующим программные комплексы, основанные на геостатистическом анализе: BRGM/Франция, DATAMINE MINERAL INDUSTRIES COMPUTING LTD/Великобритания, GEMCOM SERVICES INC/Канада, KRJA SYSTEMS/МАРТЕК/Австралия, LYNX GEO-SYSTEMS INC/ЮАР, ВНИИГЕОСИСТЕМ/Россия, ЗАО «ИНТЕГРА»/Россия и др.

Предлагаемый метод расширяет диапазон применения прикладной геостатистики за счет технологии подсчета прогнозных ресурсов по геохимическим данным.

*Геостатистический подсчет ресурсов на стадии геохимических съемок и поисков.* Метод вычисления прогнозных ресурсов по геохимическим данным использует те же параметры, что и подсчет промышленных запасов, а именно: промышленное содержание, объем рудного блока, коэффициент рудоносности. Поскольку в исходных поисковых данных из-за малого числа рудных проб и низкого содержания металла указанные параметры отсутствуют, вместо них вводятся относительные величины, количественно связанные с параметрами промышленных месторождений. Для этого выполняются следующие операции, использующие объективные данные.

Доля промышленного содержания элемента в пробе устанавливается путем нормирования результатов лабораторных определений на минимально-промышленное содержание элемента, принятое по мировым (или региональным) оценкам. Полученные величины называются коэффициентами промышленной концентрации ( $K_{Cp}$ ).

Доля площади рудоносного блока с промышленным содержанием металла определяется с помощью коэффициента промышленной рудоносности ( $K_{Sp}$ ), равного отношению площади с промышленным содержанием металла (по  $K_{Cp}$ ) к площади всего рудоносного блока (в долях единицы). Ориентировочные пороги рангов аномальных геохимических полей (АГХП) можно принять соответствующими десятичной градации объектов (в  $K_{Cp}$ ): рудное тело (РТ) — 1, рудное месторождение (РМ) — 0,5, рудное поле (РП) — 0,1, рудный узел (РУ) — 0,01. Глубина прогнозирования для крутопадающих рудоносных структур определяется технологически доступной глубиной отработки месторождений данного типа. При упрощенном вычислении прогнозных ресурсов фактическая продуктивность ореола корректируется на величины  $K_{Cp}$  и  $K_{Sp}$ . При этом коэффициенты считаются независимыми переменными. На самом деле, в рудоносном блоке они функционально связаны.

Для более точного определения прогнозных ресурсов вычисляется функция связи коэффициентов промышленной концентрации и промышленной рудоносности. В общем случае она выражается функцией, обладающей эластичными свойствами:  $F(K_{Sp}K_{Cp})=(K_{Cp}/K_{Sp}) \cdot (dK_{Cp}/dK_{Sp})$ . Выявленная зависимость позволяет определить коэффициент рудоносности по заданному численному значению коэффициента промышленной концентрации.

Уточненные прогнозные ресурсы определяются по общепринятой формуле подсчета промышленных запасов. Однако вместо среднего содержания металла в ореоле в формуле используется принятое минимальное промышленное содержание, скорректированное на величину  $K_{Cp}$ , а площадь рудоносного блока корректируется на величину коэффициента промышленной рудоносности при заданном значении коэффициента промышленной концентрации:

$$Q=(S \cdot K_{Sp}) \cdot H \cdot d \cdot C_p,$$

где  $Q$  — прогнозные ресурсы металла, кг;  $S$  — площадь потенциального месторождения, м<sup>2</sup>;  $K_{Sp}$  — коэффициент промышленной рудоносности, равный  $K_{Sp}=f_{K_{Sp}}(K_{Cp})$ ;  $H$  — глубина отработки прогнозируемого месторождения, м;  $d$  — объемный вес руды, т/м<sup>3</sup>;  $C_p$  — заданное минимальное промышленное содержание металла, кг/т.

*Пример вычисления прогнозных ресурсов по результатам донного опробования.* Предлагаемый метод оценки прогнозных ресурсов описывается на примере статистической обработки атрибутивной таблицы результатов донного опробования листа м-ба 1:200 000\*. Для составления табл. 1 необходимо исходные табличные данные, записанные в Excel, дополнить коэффициентами промышленной концентрации путем деления содержаний элементов на их минимальное промышленное содержание по мировым или региональным оценкам [4, 5]. В упомянутом справочнике [2] в табл. 6 приведены расчетные предельно рентабельные цены единицы полезного ископаемого по состоянию на 2008 г. Текущие цены на полезное ископаемое устанавливаются на основе текущей цены доллара, а минимальное промышленное содержание — исходя из зависимости между ценой полезного ископаемого и его минимально-промышленным содержанием. Например, зависимость содержания (1 г/т) от цены на золото в 2008 г. (30 дол/г) описывается формулой, приведенной на диаграмме (рисунок). Цена в 2014 г. выросла до 42 дол/г. Если из этой цены вычесть стоимость всех затрат на получение товарного продукта [2, табл. 5], то останется минимальная цена 1 г Au в недрах. Подставляя данное значение в формулу, показанную на рисунке, получаем текущее значение минимально-промышленного содержания Au, равное 0,89 г/т.\*\* Аналогичным образом можно получить расчетное значение минимально-промышленных содержаний других метал-

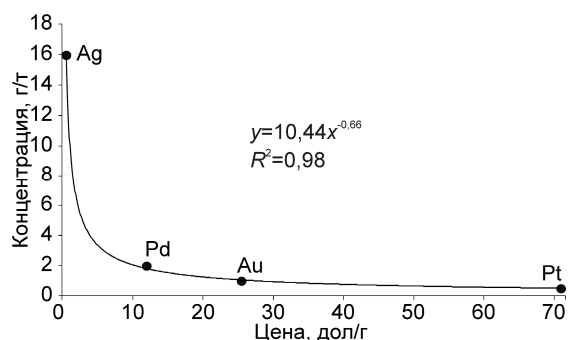
\* Прогнозные геохимические карты на геологической основе в статье не приводятся из-за цветовой сложности рисунков.

\*\* При составлении таблиц минимально-промышленное содержание Au принято равным 1 г/т.

1. Поэлементная статистика результатов анализа 940 проб донных отложений листа м-ба 1:200 000, г/т

Параметры	Au	Hg	Pb	Cu	Zn	Ag	Bi	W	Mo	Be	Li	Sn	Mn
Номера проб	16	26	35	25	14	24	64	24	23	35	9	89	33
Минимум	0,001	0,002	10	15	30	0,03	0,5	1	0,6	0,5	10	1	0,01
Максимум	0,27	0,28	200	200	5000	0,5	3	3	5	5	40	5	4000
Среднее	0,015	0,017	17,6	40	102	0,05	0,56	1	1,2	1,3	20	1,5	892
Стандартное отклонение	0,01	0,015	11,4	10,7	86	0,04	0,14	0,2	0,47	0,5	5,2	0,7	401
$C_a = C_{Cp} + 2S$	0,03	0,05	40	60	273	0,13	0,7	1,4	2,4	2,3	30,4	2,9	1694
$K_c = C_{\max} / C_{Cp}$	18	16	11	5	49	10	5	3	4	4	1,3	1,7	4,5
Кларк верхней коры (К)	0,0065	0,007	17	39	78	0,13	0,33	2,5	1,5	2,1	30	3,8	670
$C_n / K$	4,6	7,1	2,4	1,5	3,5	1	2,1	0,56	1,6	1,1	1	0,76	2,5
$C_{\min. \text{ пром.}}$	1	100	7000	3000	10 000	100	1000	1000	800	1000	1000	2500	80 000
$K_{Cp} = C_{\max} / C_{\min. \text{ пром.}}$	0,27	0,003	0,03	0,07	0,5	0,005	0,003	0,003	0,006	0,005	0,04	0,002	0,05

Ранговый ряд элементов по  $K_c$ : 49Zn-18Au-16Hg-11Pb-10Ag-6Yb-5CuBiCr-4MnBaZrSrNb-3WNiTi-2VPCoSn. Ранговый ряд по  $K_{Cp}$ : **PP (0,5Zn-0,27Au)** — **PU** (0,09Ti-0,07Cu-0,06Co-0,05MnBa-0,04NiLiNbY-0,03PbVsrPYb-0,02Zr-0,01Cr) — P3 (0,005Mo-0,005BeAg-0,003HgBiW-0,002Sn). Коэффициент корреляции  $K_c$  и  $K_{Cp}$  равен +0,9.



**Зависимость минимальной промышленной концентрации от мировой цены металла**

лов. Однако на практике подобная корректировка минимально-промышленного содержания при вычислении прогнозных ресурсов низких категорий целесообразна только в случае больших скачков цены металла.

Подготовленные таким образом исходные таблицы трансформируются в формат DBF и открываются в ArcMap.

*Определение границ перспективных объектов.* В табл. 1 (фрагмент) приведена статистика аналитической выборки из 940 донных проб, отобранных на территории листа м-ба 1:200 000. Она получена с использованием программы ArcMap. Статистика верхних пяти параметров (строк) набиралась в полуавтоматическом режиме по столбцам содержания в пробах соответствующих элементов. Остальные параметры вычислялись непосредственно по этой таблице. Кларк верхней части континентальной коры заимствован у Н.А.Григорьева [3]. Минимально-промышленные содержания в основном получены из справочников [2] и «Минеральные ресурсы».

Итерация данных производилась для элементов, у которых стандарт равен или превышает среднее выборки. Ураганное содержание, превышающее устойчивое максимальное, заменялись на устойчивое максимальное (многократно повторяющийся максимум), но только для вычисления среднего и стандартного отклонения. В остальном данные исходных таблиц не корректировались.

Выделение границ АГХП проводилось по превышению среднего на два стандарта, что соответствует уровню критерия значимости 0,05.

В табл. 1 приведены три показателя уровня накопления элементов:  $K_c$  — превышение максимума над средним,  $K_{cp}$  — доля максимума в минимально-промышленном содержании и отношение  $C_a/K$ , позволяющее выделить элементы, аномалии

которых ниже кларка верхней части континентальной коры.

При сопоставлении ранговых рядов  $K_c$  и  $K_{cp}$  видно, что между показателями существует устойчивая положительная корреляция. Величина  $K_c$  не всегда соответствует промышленной важности элемента как объекта поисков, так как элементы с низким кларком в месторождениях накапливаются в сотни и тысячи раз больше, чем Ti, Mn и др. В то же время,  $K_c$  полнее раскрывает состав элементов-спутников главного элемента.

В табл. 1 полужирным шрифтом выделены металлы, уровень накопления которых ( $K_{cp}>0,1$ ) соответствует рангу РП — Zn, Au и Ti. Уровень накопления их относительно фона ( $K_c$ ) составляет соответственно 49, 18 и 2,6. Продуктивную ассоциацию дополняют Pb, Cu, Ag, Hg,  $K_c$  которых  $>10$ , а также ряд элементов с  $K_c<10$ . Последние по уровню накопления относительно промышленных содержаний (по  $K_{cp}<0,01$ ) отвечают рангам РУ и РЗ (РР), поэтому аномалии этих элементов самостоятельного значения в качестве объектов для поисков месторождений не имеют, но они важны для металлогенического анализа территории.

Все точки отбора геохимических проб, содержание которых превышает указанные выше пороги, отображаются на геологической основе соответствующими условными знаками и окраской, например: РП ( $K_{cp}>0,1$ ) — пентагоны, РУ ( $K_{cp}>0,01$ ) — прямоугольники, РЗ ( $K_{cp}>0,001$ ) — треугольники. Точками обозначены места отбора неаномальных проб. По скоплению проб с содержанием элементов выше нижнего уровня соответствующего ранга на карте выделяются АГХП РУ, РП.

Аномальные пробы всех элементов, превышающие порог РУ, на отдельных участках опробованной территории образуют скопления, соответствующие рангу РУ. Характерные признаки РУ: приуроченность к определенной геологической структуре; широкий спектр аномальных элементов; наличие отдельных проб с содержанием элементов, соответствующим рангу РП, РМ ( $K_{cp}>0,01$ ;  $K_{cp}>0,1$ ), а также известных проявлений и месторождений; ранжированный ряд  $K_c$  элементов образует ассоциации, характерные для рудных формаций; содержание элементов продуктивной ассоциации существенно превышает кларки пород, вмещающих АГХП.

На территории листа м-ба 1:200 000 обычно выделяются несколько РУ. Промышленную перспективность каждого из них позволяет оценить геостатистический анализ локальной выборки



2. Статистика выборки 41 пробы Урсульского РУ и прогноз ресурсов категории Р3 (SPУ=108 км<sup>2</sup>, плотность опробования, δS: 1 проба на 3,5 км<sup>3</sup>)

Параметры	Au	Hg	Pb	Cu	Zn	Ag	Bi	Mo	Be	Li	Sn	Mn
Минимум	0,002	0,005	8	20	30	0	0,5	0,6	1	10	1	400
Максимум	0,06	0,023	200	200	5000	0,5	0,8	3	0,8	30	5	3000
Среднее	0,01511	0,040194	41,1	41,0	390,3	0,1	0,5	1,2	0,5	19,0	2,3	1229,0
Стандартное отклонение	0,01	0,02	29,40	32,06	178,00	0,06	0,17	0,66	0,17	7,23	1,33	763,35
$C_a$	0,03	0,05	40	60	273	0,13	0,7	2,4	2,3	30,4	2,9	1694
$K_c$	4,0	0,6	4,9	4,9	12,8	4,2	1,6	2,4	1,6	1,6	2,2	2,4
$C_{мин. пром.}$	1	100	7000	3000	10 000	100	1000	800	1000	1000	2500	80 000
$K_{Cp}$	0,06	0,002	0,03	0,07	0,5	0,005	0,0008	0,004	0,0008	0,03	0,002	0,04
$K_{Sp}$	0,07	0,10	0,27	0,10	0,32	0,07	0,02	0,05	0,05	0,07	0,22	0,12
Номера проб	3	4	11	4	13	3	1	2	2	3	9	5
$P_{H=1 м.}$ Т	0,3	0,8	3056,1	1212,0	21 867,3	1,7	1,6	12,4	3,2	205,0	113,2	36 068,4
$P_{3, H=1000 м.}$ Т	1,5	0,1	24 598,1	8277,2	3 466 767,1	0,6	0,0	2,4	0,1	450,0	49,7	175 943,2

Ранговый ряд элементов по  $K_c$ : **12,8Zn-4,9Cu-4,9Pb-4,2Ag-4Au-2,5Sn-(4Y-3,6Yb-3,2Zr-2,9Sr-2,4Mo-1,6BiLiBeW)-(2,5Mn-2Co-1,7Ni)/0,5Ti-0,6Hg-1,3P-1,4Cr**. Ранговый ряд элементов по  $K_{Cp}$ : **РУ 0,5Zn-0,07Cu-0,06Au-0,03Pb** — (РУ 0,05Ti-0,04MnCo-0,01VNi) — (РУ 0,03LiYb-0,02PBaZrSr)/**РЗ 0,007HgAgBiWMoCrSnBe**. Коэффициент корреляции  $K_c$  и  $K_{Cp}$  равен +0,9.

### 3. Вычисление прогнозных ресурсов РУ с учетом функции $K_{Cp}-K_{Sp}$

Плотность распределения Zn

$K_{Cp}$	$K_{Sp}$	$n$
0,01	0,6	24
0,02	0,16	6
0,03	0,07	3
0,04	0,07	3
0,05	0,06	2
0,06	0,02	1
0,1	0,02	2
Сумма	1	41

$$K_{Sp}=0,0005K_{Cp}$$

Прогнозные ресурсы Zn:

в РУ  $QZn=108\ 251\ 831\ м^2 \cdot 0,0005 \cdot 1000 \cdot 2,7 \cdot 10\ кг/т \cdot 0,5=731$  тыс. т,

в том числе: в РП1  $QZn=16\ 600\ 000 \cdot 0,0005 \cdot 700 \cdot 2,7 \cdot 10 \cdot 0,5=78$  тыс. т,

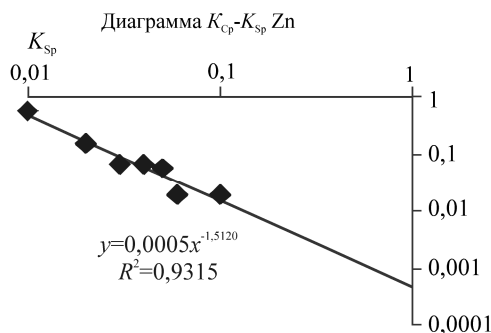
в РП2  $QZn=17\ 100\ 000 \cdot 0,0005 \cdot 700 \cdot 2,7 \cdot 10 \cdot 0,5=81$  тыс. т,

в РП3  $QZn=7\ 000\ 000 \cdot 0,0005 \cdot 700 \cdot 2,7 \cdot 10 \cdot 0,5=33$  тыс. т.

проб, отобранных на территории соответствующего узла. В табл. 2 (фрагмент) приведена статистика 41 пробы, отобранной в пределах одного из рудных узлов. В таблицу РУ добавлены три строки: число аномальных проб элементов в контуре РУ; продуктивность элементов в тоннах на глубину 1 м; прогнозные ресурсы металлов на глубину 1000 м.

Границы РУ выбраны по скоплению аномальных проб, выделенных по данным табл. 1. Площадь РУ замерена на прогнозной карте м-ба 1:200 000. Общее число проб, плотность опробования и число проб с аномальным содержанием элемента получены из таблицы атрибутов шейп-файла (выборки проб) РУ. Прочие параметры вычислены по данным настоящей таблицы.

При сравнении таблиц 2 и 1 видно, что почти вчетверо возрастает среднее содержание Zn. Продуктивная рудная ассоциация, кроме полиметаллов, включает Cu, Ag, Au.



Вычисление прогнозных ресурсов осуществляется двумя способами — приближенным и более точным. Первый способ выполняется в Excel путем перемножения показателей, содержащихся в табл. 2.

Продуктивность ореола РУ вычисляется на основе табличных данных по формуле:

$$P_{(H=1\ м, т)}=2,7\ т/м^3 \cdot s \cdot N \cdot \delta S,$$

где  $s$  — стандартное отклонение;  $N$  — число аномальных проб;  $\delta S$  — плотность опробования.

Ресурсы ( $Q$ ) каждого элемента определяются по формуле:  $Q=P \cdot K_{Cp} \cdot K_{Sp} \cdot H$ , т, где  $K_{Cp}$  — коэффициент промышленной концентрации;  $K_{Sp}$  — коэффициент промышленной рудоносности АГХП РУ, равный отношению числа проб, превышающих порог ранга, к общему их числу в контуре РУ;

$H$  — вертикальный размах оруденения.

В этой формуле  $K_{Cp}$  и  $K_{Sp}$  приняты как независимые переменные. На самом деле в РУ, РП и РМ между ними существует степенная зависимость, учитываемая при вычислении ресурсов более точным способом, который применяется, если по данным табл. 1 ресурсы элемента представляют промышленный интерес, например, полиметаллов.

Второй способ вычисления прогнозных ресурсов учитывает функцию связи  $K_{Cp}-K_{Sp}$ . Его реализация показана в табл. 3 на диаграмме  $K_{Cp}-K_{Sp}$ . Численное значение функции связи вычисляется путем построения графика плотности распределения  $K_{Cp}-K_{Sp}$  в выборке проб РУ. Остальные параметры снимаются с врезки прогнозной карты РУ м-ба 1:50 000, на которой с использованием специальных функций ArcMap (кригинг, сплайн) изо-

### 4. Оценка рентабельности геологоразведочных работ на цинк

Цена металла в недрах, млн. дол				
Прогнозные ресурсы, $Q_{мес}$ т	1 т Zn, дол	Весь Zn, млн. дол	Доля затрат на ГРР, (млн. дол)	Прибыль, млн. дол, (% рентабельности)
731 000	2800	2047	0,68 (1392)	655 (47)

П р и м е ч а н и е. Коэффициент затрат на геологоразведочные работы принят по [2], табл. 5.

бражаются ореолы главного элемента и его элементов-спутников и определяется контур подсчета прогнозных ресурсов с учетом геохимической зональности РУ. Как правило, в пределах РУ выделяются несколько обособленных скоплений, принимаемых как потенциальные РП. Каждое из них характеризуется всего несколькими аномальными пробами, что не позволяет на этой стадии работ получить достоверную статистику по каждому потенциальному РП в отдельности. Поэтому при вычислении ресурсов используются значения  $K_{Sp}$  рудного узла, а геометрические размеры РП снимаются с прогнозной карты РУ. По такой схеме подсчитываются прогнозные ресурсы всех РУ.

*Оценка рентабельности геологоразведочных работ на РУ.* Оценка рентабельности поисковых работ на аномалиях РУ выполняется с использованием коэффициентов затрат на геологоразведочные работы (по [2], табл. 5). В табл. 4 приведен пример вычисления рентабельности производства поисковых работ в пределах РУ, исходя из вычисленных прогнозных ресурсов цинка. Величина рисков неверной оценки прогнозных ресурсов не учитывалась.

В настоящей статье схематично описывается технология геостатистического метода оценки прогнозных ресурсов по геохимическим данным с использованием ГИС-программ. Метод может быть успешно применен на стадии съемочных и поисковых работ для вычисления прогнозных ресурсов по геохимическим данным, а также на стадии оценочных работ для вычисления запасов низких катего-

рий по результатам количественного анализа проб. Достоинство метода заключается в том, что при его реализации не используются эмпирические коэффициенты, показатели, аналогии и т.д. Качественные результаты анализов, характеризующие перспективный объект, являются достаточной базой для вычисления прогнозных ресурсов. Опыт вычисления прогнозных ресурсов по ретроспективным данным показал хорошую сопоставимость с результатами разведки [4, 5]. Достоверность прогноза в конечном счете определяется качеством геологического картирования, достоверностью аналитических данных, плотностью опробования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абисалов Э.Г.* О качестве прогнозных оценок ресурсов полезных ископаемых по геохимическим данным // Разведка и охрана недр. 2010. № 5. С. 58–63.
2. *Богатство* недр России (минерально-сырьевой и стоимостной анализ). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2008.
3. *Григорьев Н.А.* Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
4. *Силин И.И.* Геолого-промышленная оценка минеральных ресурсов на стадии поисков // Руды и металлы. 2012. № 1. С. 53–61.
5. *Силин И.И.* Количественная оценка прогнозных ресурсов по геохимическим данным // Разведка и охрана недр. 2013. № 6. С. 15–25.

## СПИСОК СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ» В 2014 ГОДУ

От главного редактора. № 2. С. 4.

### Недропользование

*Михайлов Б.К., Седельникова Г.В., Беневольский Б.И., Романчук А.И.*

Инновационные технологии переработки упорных и бедных руд золота как основа рационального недропользования. № 1. С. 5.

### Прикладная металлогения

*Бердников Н.В., Пугачевский М.А., Комарова В.С.*

Платина в углеродистых сланцах: морфология, состав и вопросы генезиса. № 6. С. 18.

*Божко Н.А., Прусакова Н.А.*

О перспективах коренной алмазности Карельского кратона. № 4. С. 5.

*Варгунина Н.П., Кулаков Ф.В., Данильченко В.А.*

Перспективы золотоносности западной и центральной частей Чукотской провинции по результатам региональных геохимических работ. № 3. С. 5.

*Вялов В.И., Панова Е.Г., Семенов Е.В., Гамов М.И., Попов Ю.В., Ключарев Д.С.*

Редкоземельные металлы в дикионемовых сланцах и оболочках песчаниках Прибалтийского бассейна. № 1. С. 30.

*Гаврилов А.А.*

Актуальные вопросы теории и практики морфо-структурно-минерогенических исследований. № 1. С. 9.

*Донец А.И.*

Рудно-формационная типизация месторождений свинца и цинка и прогнозно-поисковые модели рудных районов Алтае-Саяно-Енисейской минерогенической области. № 6. С. 5.

*Кунгурова В.Е.*

К вопросу о россыпной золотоносности прибрежно-морской зоны Юго-Западной Камчатки. № 5. С. 19.

*Макеев С.М.*

Пространственная корреляция гравитационного поля и золоторудных объектов Енисейского кряжа. № 3. С. 17.

*Рыкус М.В., Сначев В.И.*

Марганцевое оруденение северной части зоны Урала, Южный Урал. № 4. С. 13.

*Савельев Д.Е., Белогуб Е.В., Зайков В.В., Сначев В.И., Котляров В.А., Блинов И.А.*

Платинометальная минерализация в ультрамафитах массива Средний Крака, Южный Урал. № 6. С. 33.

*Филиппов В.А., Чернов А.Л.*

Перспективы промышленной золотоносности западного склона Южного Урала. № 6. С. 26.

*Черных А.И.*

Особенности распределения и перспективы освоения золотого оруденения Восточно-Таннуольского района, Республика Тыва. № 5. С. 10.

*Шкодзинский В.С.*

Природа уникальных особенностей состава и распространения кимберлитов. № 5. С. 5.

*Эйриш Л.В.*

Геофизическая выраженность золоторудных структур Приамурья, Россия. № 1. С. 22.

### Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

*Афанасьев В.П.*

Миграционные свойства индикаторных минералов кимберлитов в связи с прогнозированием месторождений алмазов. № 1. С. 43.

*Гамов М.И., Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Труфанов А.В.*

Теоретическое и экспериментальное моделирование процессов деструкции металлоносных систем «уголь–порода–флюид» в термобароградиентных условиях. № 6. С. 43.

*Иванов А.И.*

Экспрессный метод поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах. № 1. С. 36.

*Юричев А.Н.*

Акцессорные шпинелиды как инструмент реконструкций термодинамических параметров кристаллизации. № 5. С. 32.

**Строение рудных месторождений**

*Абрамов Б.Н.*

Особенности формирования рудно-магматической системы Ключевского золоторудного месторождения, Восточное Забайкалье. № 4. С. 37.

*Алимов Ш.П., Цой В.Д., Королева И.В.*

Особенности формирования и закономерности размещения природных типов руд месторождения Балпангау, Узбекистан. № 5. С. 58.

*Анисимова Г.С., Соколов Е.П.*

Месторождение Бодорно — новый золоторудный объект Южной Якутии. № 5. С. 49.

*Барнов Н.Г.*

Типы рубиновой минерализации Памира на примере месторождения Снежное. № 3. С. 47.

*Белоножко Е.А.*

Геологическое строение и золоторудная минерализация Кедровского участка Федоровско-Кедровского рудного поля в Ортон-Балыксинском рудном районе, Республика Хакасия. № 6. С. 52.

*Волчков А.Г.*

Геолого-поисковые модели медно-цинковоколчеданных месторождений Урала. № 1. С. 49.

*Григорьев С.А.*

Золотоносные метасоматиты Центральной Колымы, их потенциал и перспективы освоения. № 5. С. 45.

*Игнатов П.А., Шмонов А.М., Новиков К.В., Кряжев С.Г., Ковальчук О.Е., Разумов А.Н.*

Ореолы углекислого газа в карбонатных породах, вмещающих дайково-жильные кимберлитовые тела Накынского поля Якутии. № 3. С. 39.

*Кулешевич Л.В., Тытык В.М., Компанченко А.А.*

Au-S-As минерализация месторождения Новые Пески в докембрии Карелии. № 5. С. 37.

*Миляев С.А.*

Геохимическая зональность Береговского золото-полиметаллического месторождения. № 6. С. 58.

*Миронов А.А.*

Геологическое строение и поисковая модель Харанурского месторождения золота в корах выветривания, Восточные Саяны. № 3. С. 27.

*Наталенко М.В., Имамендинова М.А., Данильченко В.А., Данилин М.В., Гудин А.Н., Цымбалюк Н.В.*  
Геологическое строение золоторудного месторождения Верхний Хакчан, Магаданская область. № 1. С. 59.

*Савва Н.Е., Колова Е.Е., Пальянова Г.А., Хасанов И.М.*

Условия формирования золото-порфирового оруденения Сылгытарского гранитоидного массива. № 4. С. 20.

*Серавина Т.В.*

Обстановки локализации полиметаллических руд Березовогорского рудного поля, Рудный Алтай. № 4. С. 30.

*Чернышов Н.М., Понамарева М.М.*

Особенности распределения благородных металлов в коре выветривания железорудных месторождений Курской магнитной аномалии. № 3. С. 34.

**Крупнообъемные месторождения золота в черносланцевых толщах — геолого-структурные, генетические, геохимические особенности, технологии обработки руд, недостатки оценки прогнозных ресурсов**

*Ариффулов Ч.Х.*

К вопросу об условиях образования крупнообъемных черносланцевых золоторудных месторождений. № 2. С. 5.

*Бакулин Ю.И.*

Особенности крупнообъемных месторождений золота. № 2. С. 20.

*Беневольский Б.И., Витковский И.М., Голенин В.Б.*

Основные недостатки оконтуривания и количественной оценки прогнозных ресурсов на примере объектов цветных и благородных металлов. № 2. С. 25.

*Ганжа Г.Б., Развозжаева Э.А.*

Органическое вещество в осадочных породах Вернинского золоторудного месторождения, Патомское нагорье. № 3. С. 65.

*Ежков Ю.Б., Рахимов Р.Р., Новикова И.В.*

Основные геохимические особенности золоторудных месторождений Западного и Южного Узбекистана (ореолы, зональность, перспективы). № 2. С. 30.

*Коньшиев В.О.*

К методике оценки содержаний Au в рудопроявлениях с крупным золотом Ортон-Балыксинского района, Кузнецкий Алатау. № 2. С. 44.

*Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М., Яблокова С.В., Арефьева В.И.*

Уникальное промышленное золото-сульфидное месторождение Олимпиада в верхнепротерозойских терригенных отложениях. № 3. С. 51.

*Подгаецкий А.В., Черепанов А.А.*

Комплексный анализ черносланцевых пород Дальнего Востока как перспективного благороднометалльного сырья. № 2. С. 65.

### **Прогноз и оценка месторождений твердых полезных ископаемых с использованием современных компьютерных технологий**

*Исоков М.У., Салиев Т.Р.*

Применение горно-геологических информационных систем на примере золоторудного месторождения Кызылалма, Узбекистан. № 4. С. 44.

### **Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ**

*Бахарев С.А.*

Результаты промышленных испытаний установки комплексного акустического воздействия на сапонитсодержащую водную систему алмазодобывающего предприятия. № 6. С. 63.

*Беговатов С.С., Махнева Н.А., Власов А.В.*

История освоения и технология обогащения руды золоторудного месторождения Эльдорадо в Енисейском кряже. № 4. С. 49.

*Дроздов А.В., Егоров К.Н., Мельников А.И.*

Оценка прочностных показателей кимберлитов и вмещающих пород на глубоких горизонтах месторождения трубки Удачная. № 4. С. 73.

*Кузнецова И.В.*

Проблемы выделения наноразмерного золота при россыпной золотодобыче на примере Приамурья. № 4. С. 52.

*Тарасов А.С., Куторгин В.И.*

Достоверность результатов вибровращательного бурения при разведке россыпи благородных металлов р. Уоргалан, Хабаровский край. № 4. С. 58.

*Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е., Тимофеев А.С.*

Особенности минералогического состава и распределения минеральных компонентов в отвальных хвостах обогащения алмазосодержащего сырья. № 4. С. 67.

### **Рецензии**

*Амосов Р.А.*

Рецензия на «Атлас морфологически классифицированных и сертификационно оцененных золотых, платиновых и серебряных самородков». № 2. С. 75.

### **Дискуссии**

*Макеев С.М.*

Скопления золоторудных объектов Енисейского кряжа в дугообразных структурах гравитационного поля. № 5. С. 72.

*Силин И.И.*

Геостатистическая оценка прогнозных ресурсов по геохимическим данным. № 6. С. 69.

*Фомин Ю.М.*

Генезис Попигайской алмазонасной структуры. № 3. С. 74.

### **Зарубежный опыт**

*Амосов Р.А., Сальгадо В.*

Переработка окисленных золотых руд на руднике Янакоча, Перу. № 5. С. 64.

### **Памятные даты**

К 80-летию Анатолия Ивановича Кривцова (1933–2010), К 100-летию Льва Николаевича Овчинникова (1913–2002) (№ 1), К 100-летию Юлии Петровны Казакевич (1914–1984) (№ 3)

### **Поздравляем с юбилеем**

Б.Я.Вихтера (№ 2), Е.А.Козловского (№ 3), В.И.Куторгина, В.П.Новикова (№ 5)

**ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В ЖУРНАЛ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ»**

**Статьи, поступившие в редакцию, проходят экспертизу членов редколлегии и направляются на рецензию**

1. Рукопись статьи подготавливается в соответствии с образцом оформления и представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (разрешением на опубликование) руководителя учреждения и экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.

*Образец оформления статьи*

УДК 553.444.001.57 (571.5)

А.И.Донец, 2014

**РУДНО-ФОРМАЦИОННАЯ ТИПИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА И ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ РУДНЫХ РАЙОНОВ АЛТАЕ-САЯНО-ЕНИСЕЙСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ**

**А.И.Донец (ФГУП «ЦНИГРИ»)**

*Рассмотрены рудно-формационные типы свинцово-цинковых месторождений — рудно-алтайский, филизчайский, миргалимсайский, приаргунский и садонский. Охарактеризованы прогноз-поисковые модели Змеиногорского, Холоднинского, Миргалимсайского, Приаргунского и Садонского рудных районов с элементами формационных, структурных, литофациальных, метасоматических, минералогических, геохимических и геофизических признаков. По деформированности рудовмещающих толщ и залегающих внутри них руд в филизчайском типе выделены три группы прогнозируемых рудных районов.*

*Ключевые слова: свинцово-цинковые месторождения, рудно-формационные типы месторождений, состав руд, рудовмещающие формации, прогноз рудных районов.*

*Донец Александр Иванович, metallogeny@tsnigri.ru*

Далее следуют название, аннотация и ключевые слова на английском языке.

2. К статье прилагаются сведения об авторе (авторах) — имя, отчество, фамилия, место работы, должность, ученая степень, ученое звание, адрес для переписки, телефон, e-mail.

3. Максимальный объем статьи — 20 страниц, включая таблицы и список литературы. Материалы отправляются по электронной почте в формате MS Word (с расширением .doc, .rtf), шрифт Times New Roman (размер шрифта 12, межстрочный интервал 1,5). Размеры полей страницы сверху и снизу — 2 см, справа — 1 см, слева — 3 см. Все страницы рукописи нумеруются. Текст, таблицы, рисунки помещаются в отдельные файлы. В тексте иностранные фамилии и названия географических объектов даются в русской транскрипции. Таблицы должны иметь названия, набираться без сокращения слов (размер шрифта 10, межстрочный интервал 1,0). Максимальный размер таблицы 22×15 см.

4. Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать MS Equation 3.0. Физические величины и единицы измерения должны соответствовать принятым в Международной системе единиц СИ. Все сокращения и аббревиатуры, за исключением общеупотребительных, расшифровываются при первом упоминании. Десятичный символ — запятая (0,47); между цифрами — тире без пробелов (5–10); кавычки — «елочки».

5. Иллюстративные материалы представляются в цветном или черно-белом варианте в количестве не более 5–7. Размер рисунков должен быть не менее 7,5 см по ширине и не превышать 22 см по высоте. Максимальный размер рисунка 22×15 см. Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: JPG, BMP, TIFF для фотографий, CDR для векторной графики, диаграмма MS Excel.

Предпочтительным является представление графики в векторном виде, пригодном для редакторской правки. Растровые, сканированные рисунки и ксерокопии не принимаются. Графика должна быть связана с текстом и способствовать его сокращению. Цифры и буквы в условных обозначениях, вынесенных за пределы рисунка, даются курсивом. Толщина линий и надписей — не менее 0,2 мм. На всех рисунках указываются масштаб и ориентировка по странам света, на картах — географические координаты. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице после списка литературы.

6. Список литературы приводится в конце статьи с нумерацией источников по алфавиту. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник даются соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. Неопубликованные работы в список не включаются, при необходимости на них делается ссылка в тексте, например (А.А.Иванов, Б.Б.Петров, 2003 г.).

*Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать название статьи, текст, рисунки.*

E-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru

### ЖУРНАЛ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ»

**Публикует материалы** по прогнозу, поискам, оценке и разведке месторождений; прогрессивным технологиям геологоразведочных работ; переработке и анализу руд; минерально-сырьевых ресурсов; геолого-экономической оценке месторождений; конъюнктуре минерального сырья; инвестиционной привлекательности геологических объектов; юридическим вопросам в сфере недропользования.

**Размещает рекламу** по вышеуказанным проблемам.

При повторных публикациях — **скидки от 5 до 20%**.

Расценки в рублях с учетом НДС	
Объем (полоса формата А4)	Цена
1/1	10 000
1/2	5000
1/4	2500
Разворот на 4 полосы	30 000

Реклама по заказам геологических организаций и высших учебных заведений выполняется **по льготным расценкам**.

**Печатает сообщения** об издании книг, сборников, журналов как вышедших, так и готовящихся к публикации.

**Может оперативно издать** целевой номер, посвященный Вашим предприятию, фирме или ее продукции и услугам, а также малым тиражом брошюры, книги, программы семинаров, конференций, совещаний.

**Подписка оформляется** во всех отделениях связи по каталогу «Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать» (индекс 47 218) и в редакции журнала. Периодичность — 4 номера в год. Цена подписки на год 800 рублей.

**Адрес редакции:** 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

**Контактный телефон:** 8 (495) 315-28-47 Факс: 315-43-47

**E-mail:** rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru