

УДК 553.411

Григоров С.А., Кушнарёв П.П. (АО «Золоторудная компания Павлик»)

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАВЛИК

*Для золоторудного месторождения Павлик рассмотрены основные черты геологического строения и локализации золотого оруденения. На основе блочного моделирования по данным эксплуатационной разведки выполнен анализ, позволивший уточнить структурную позицию рудных тел и особенности распределения в них золота. Установлено, что ведущими рудоконтролирующими структурами являются зоны трещиноватости субширотного, субмеридионального и северо-западного простирания (аз. простирания 120°–140°). Определено значение субмеридиональных и северо-восточных структур, играющих роль «ограничителей» и создающих блоковое строение. Выявлено наличие рудных столбов концентрационного типа, положение которых определяется участками пересечения структур субширотного, северо-западного и субмеридионального простирания. **Ключевые слова:** золоторудное месторождение, разведка, структуры, локализация золотого оруденения, блочное моделирование.*

Grigorov S.A., Kushnarev P.P. (Pavlik gold mining company)

THE MAIN FEATURES OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE AND LOCALIZATION OF MINERALIZATION OF THE PAVLIK GOLD DEPOSIT

*The main features of the geological structure and localization of gold mineralization are considered for the Pavlik gold deposit. On the basis of block modeling according to operational exploration, the analysis was performed, which allowed to clarify the structural position of ore bodies and the features of gold's distribution in them. It is pointed out that the leading ore-controlling structures are the fracture zones of sub-latitudinal, submeridional and North-Western strike (strike azimuth 120–140°). The value of submeridional and North-Eastern structures that play the role of «limiters» and create a block structure is determined. The presence of ore columns of concentration type, the position of which is determined by the areas of intersection of the structures of the sublatitudinal, North-Western and submeridional strike, is revealed. **Keywords:** gold deposit, exploration, structures, localization of gold mineralization, bloc modeling.*

Золоторудное месторождение Павлик в настоящее время играет важную роль в добыче коренного золота Магаданской области. По утвержденным балансовым запасам оно занимает второе место по области после крупнейшего Наталкинского месторождения, распо-

ложенного в том же рудном узле. Вместе с тем, строение месторождения в геологической литературе практически не описано.

Месторождение Павлик было открыто в 1942 г. в результате поисковых работ, проводившихся под руководством Е.П. Машко. Запасы месторождения неоднократно рассматривались и утверждались в ГКЗ. По состоянию на 01.01.2009 г., числившиеся на Государственном балансе запасы, признавались забалансовыми для условий подземной отработки.

Коренная переоценка объекта произошла в 2010 г., когда по результатам работ 2007–2009 гг. были подсчитаны и утверждены запасы месторождения для условий открытой отработки. Запасы золота по нему увеличились почти в 2 раза. Промышленное освоение месторождения открытым способом началось в 2013 г.

Геологоразведочные работы (ГРП) с использованием колонковых бурения проводились также на флангах и глубоких горизонтах в период 2009–2017 гг. Для оценки запасов кат. С₁ использовалась сеть 60–40 × 50–40 м. По результатам ГРП в 2018 г. были утверждены постоянные кондиции. Переоценка месторождения показала увеличение запасов золота почти в 4 раза в сравнении с исходными показателями на 01.01.2009 г.

Геологическая позиция месторождения Павлик определяется его приуроченностью к зоне Тенькинского глубинного разлома. Оно располагается в своде Павликовской антиклинали, образованной вулканогенно-осадочными породами пермского возраста. Большая часть площади месторождения состоит из отложений Омчакской свиты, имеющей общую мощность 1400 м и представленной преимущественно алевролитами, сланцами, песчаниками. В ядрах антиклиналей отмечается незначительное количество выходов на поверхность отложений атканской свиты, имеющей мощность от 250 до 800 м и представленной преимущественно микститами и туфогенными сланцами с гравийно-галечными прослоями. Установленные в пределах рудного поля интрузивные образования как дорудные, так и пострудные на распределение золотокварцевой минерализации явного влияния не оказывают. В пределах изученной части рудного поля локализована серия рудных зон, с которыми связано золотое оруденение.

Месторождение Павлик размещено в крупной тектонической зоне северо-западного простирания, падающей на северо-восток под углом около 75° и осложняющей свод Павликовской антиклинали (рис. 1).

Ниже рассмотрены структурно-морфологические аспекты, характеризующие только три сопряженных уровня организации минерального вещества рудообразующей системы «рудная зона-рудное тело-рудный столб». Рассмотренные уровни составляют часть общей системы в составе: рудное поле — рудные блоки —

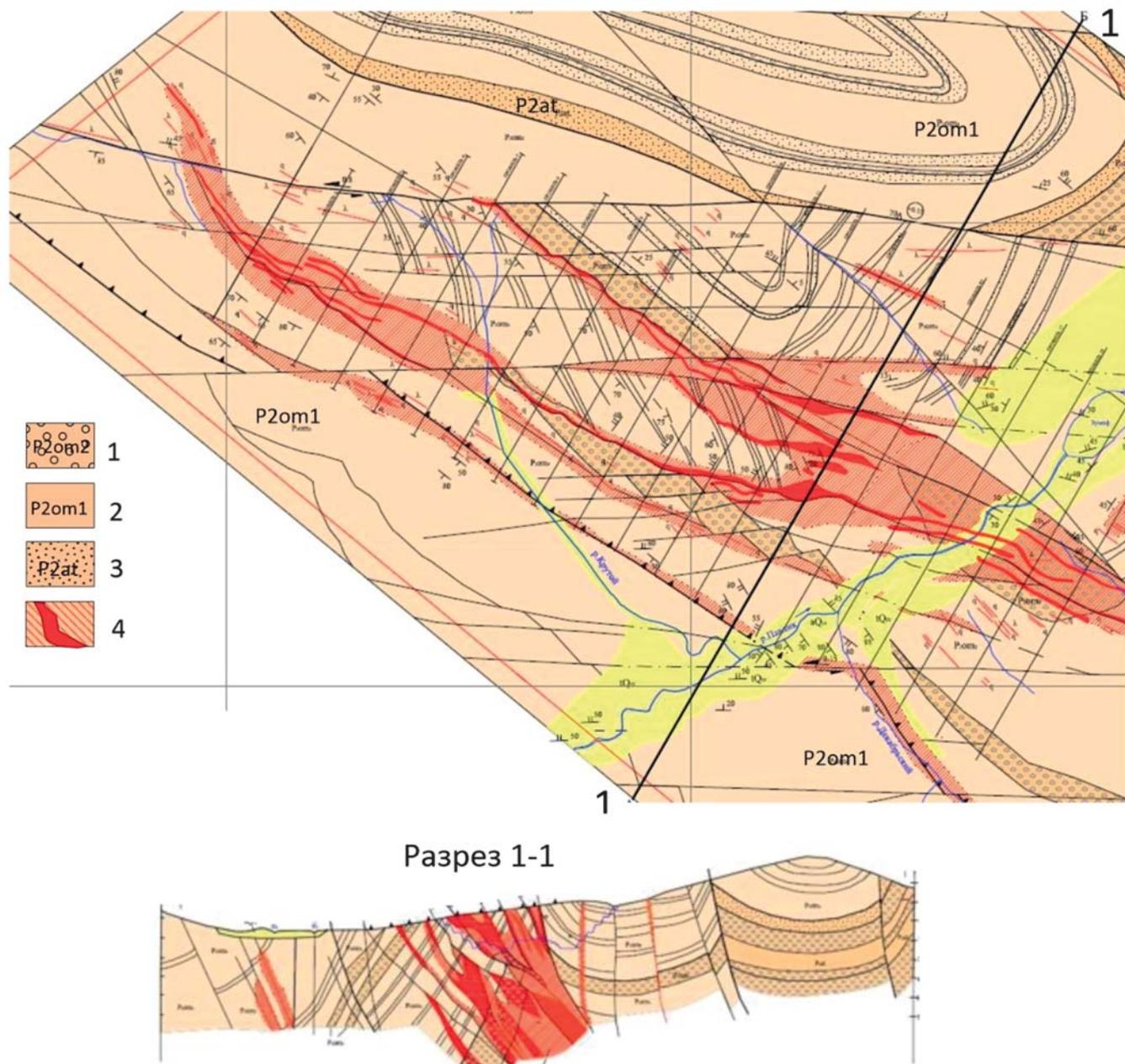


Рис. 1. Геологическая карта и разрез месторождения Павлик: 1 — среднеомчакская свита — алевролиты, алевропесчаники, песчаники; 2 — нижнеомчакская свита — сланцы, вулканомиктовые сланцы; 3 — атканская свита — алевролиты, сланцы, туфопесчаники, гравийно-галечные прослои; 4 — рудные зоны среди карбонат-кварцевых метасоматитов

рудные зоны — рудные тела — рудные столбы, и представляют интерес в связи с прикладным назначением исследованных аспектов для текущего производства. Характеристика крупных таксонов рудообразующей системы направлена на обоснование прогнозной оценки и полноты поисковой изученности и разведанности РМС, породившей Павликовское месторождение, и требует отдельного рассмотрения [1].

С целью оценки запасов выделялись рудные зоны, которые рассматривались как образования, приуроченные к оперяющим трещинам основных разрывов. Рудные зоны представляют собой линейно-вытянутые по простиранию и падению участки трещиноватых, дробленных и перемятых горных пород осадочной тол-

щи, сцементированных жильными гидротермальными образованиями. В соответствии с принципами системного подхода они рассматриваются как образования определенного масштабного уровня [2].

Максимально продуктивной является центральная часть месторождения длиной 2,5 км и шириной от 250 до 800–1000 м. К двум наиболее крупным разрывным нарушениям приурочены рудные зоны 1 и 9, ограничивающие область сосредоточения основных запасов месторождения соответственно с юго-запада и северо-востока. Внутри этих границ прослеживаются подобные же зоны разлинзования и милонитизации, в том числе контролирующее положение рудных зон 7 и 8. Отмеченные рудные зоны вмещают более 80 % запасов

Таблица 1
Характеристики рудных зон

№ зоны	Параметры рудных зон, м			Относительное количество, %	
	по простиранию	по падению	по мощности	запасы руды	запасы золота
1	2150	75–435	6.0–124.1	35.5	35.7
2	1000	50–240	5.0–24.6	4.9	4.8
3	850	50–265	5.0–35.2	5.1	5.8
4	650	50–220	6.0–19.1	1.5	1.7
5	410	35–145	5.0–26.3	0.6	0.6
6	850	50–225	5.0–13.3	1.6	1.9
7	1020	50–480	6.0–100.5	22.9	23.8
8	950	50–350	5.0–77.9	9.7	8.3
9	1520	50–320	5.0–71.1	15.3	15.0
10	600	50–120	5.0–18.0	0.8	0.7
21	115	60	5.0–7.0	0.1	0.1

месторождения. К второстепенным разрывным нарушениям, оперяющим перечисленные или являющимися их сопряжениями, приурочены еще несколько рудных зон месторождения.

Всего на месторождении выделено 14 рудных зон протяженностью от 60 м до 1,5 км. Золотое оруденение с промышленными параметрами прослежено на глубину до отметки +350 м. Глубина разведки ограничена по экономическим соображениям. Простирание всех известных на месторождении рудных зон северо-западное и находится в пределах 270° – 310° . Падение зон на северо-восток под углами от 40° до 75° . Намечается общая тенденция к выполаживанию рудных зон с глубиной до углов 30 – 40° . Вертикальный размах разведанной части оруденения составляет 150–450 м. Единичными скважинами золотое оруденение с промышленными параметрами прослежено на глубину до 750 м. Характеристики основных рудных зон, установленные по подсчету запасов 2018 г., представлены в табл. 1. Пространственное положение зон показано на рис. 2.

Рудные зоны достаточно уверенно выделялись и прослеживались по простиранию и падению. Надежное оконтуривание частных рудных тел внутри рудных зон при достигнутой плотности разведочной сети, как правило, не представлялось возможным в связи со сложностью тектонического строения.

Границы рудных тел выделяются исключительно по содержанию золота. Их мощность в отдельных случаях при установленных кондициях достигает 120 м. Средняя истинная мощность рудных интервалов по отдельным зонам изменяется от 5 до 20 м.

В пределах зон тектонических нарушений и дробления отмечается березитизация пород, сопровождаемая карбонат-кварцевым прожилкованием, а также вкрапленностью пирита и арсенопирита. С этими образованиями связана золоторудная минерализация, относящаяся к малосульфидной золотокварцевой формации.

В приповерхностной части разреза отмечается зона окисления глубиной от 2–3 до 10 м, редко до 30 м. В редких случаях по тектоническим трещинам встречается

резко выраженное окисление на глубине до 100 м. Контуры зоны в пространстве месторождения надежно не определены; доля окисленных руд на месторождении представляется незначительной.

Основные формы жильных гидротермальных образований в рудных зонах представлены системами прожилков, линзами или короткими жилами. Мощность прожилков составляет от долей мм до 1 см, а мощность линз или коротких жил — до 0,5 м и редко до 1,0 м. Элементы залегания прожилков разнообразны, однако, как правило, они имеют согласное с зоной залегание. Состав жильных образований — преимущественно кварцевый или кварц-кальцитовый. Из рудных минералов, определяемых макроскопически, кроме золота фиксируются арсенопирит и пирит. Суммарное количество арсенопирита и пирита составляет не более 0,5–1,0 % (до 5 %). Количество кальцито-кварцевого материала в составе руд редко превышает 5–10 % от общего объема руды. Отмечается наличие органического углерода, среднее содержание которого по зонам изменяется от 0,3 до 0,7 %. Из гипергенных

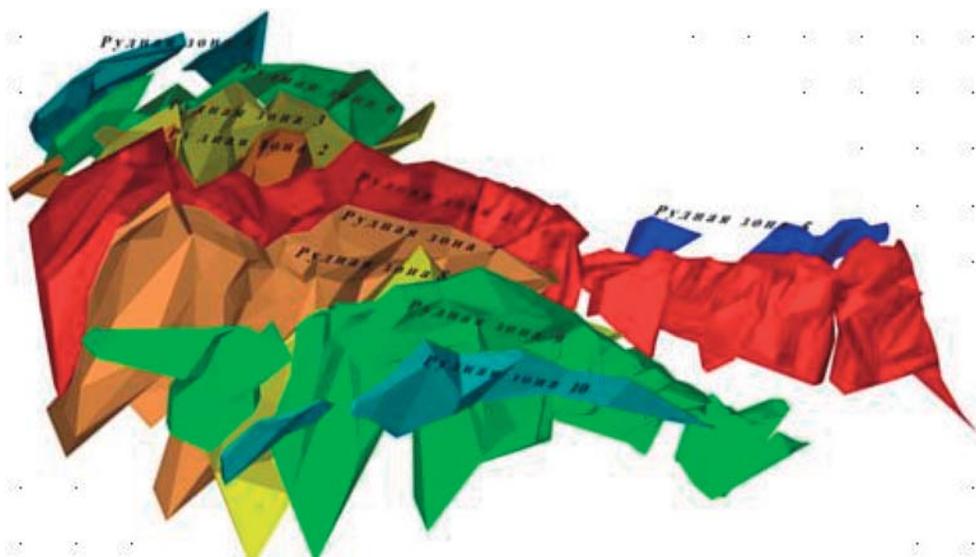


Рис. 2. Пространственное положение (каркасы) рудных зон месторождения Павлик

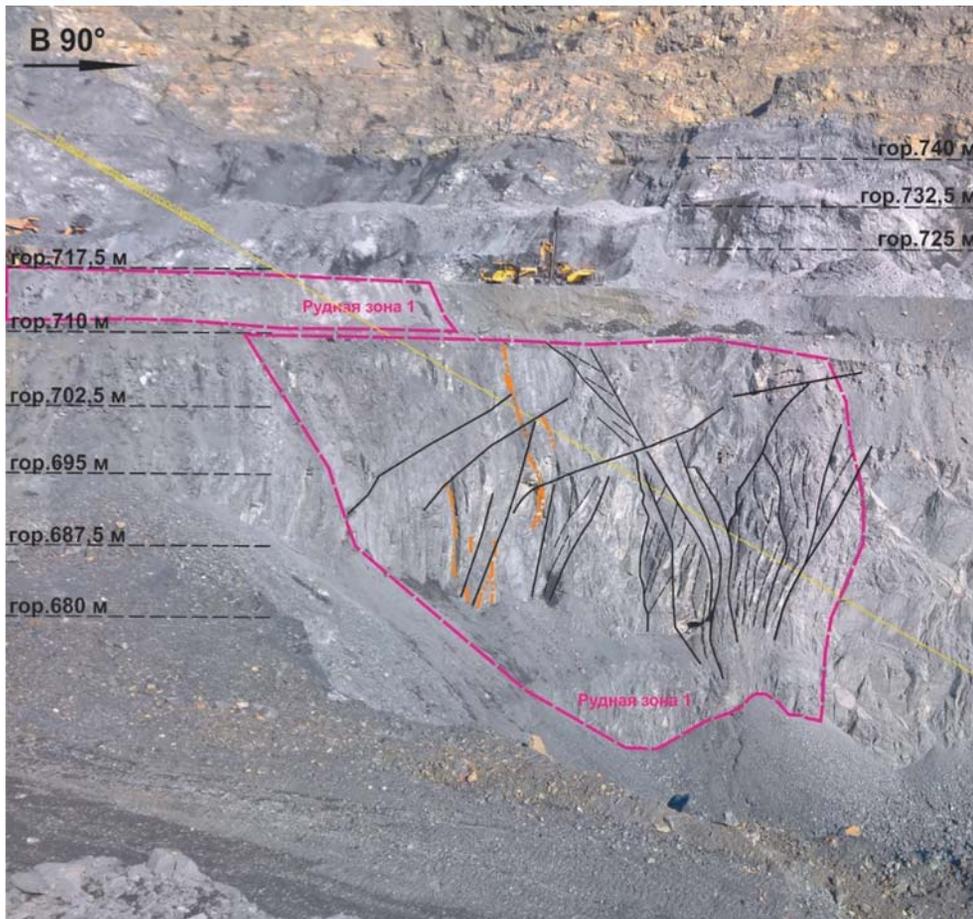


Рис. 3. Схематичное положение границ рудной зоны № 1 в ее центральной части в северо-западной стенке карьера. Черным пунктиром выделены зоны смятия-дробления, оранжевым — сульфидно-кварцевое прожилкование

минералов в пределах зон окисления распространены гидрооксиды железа, скородит, гипс и натроярцит.

Основным полезным компонентом среди рудных минералов является золото. Оно отмечается в форме неправильных зерен, пластинок, чешуек. Поверхность золотин — неровная, бугорчатая. Размеры частиц колеблются от тысячных долей миллиметра до 0,3–0,5 мм, реже до 1,5–4,0 мм. Помимо золота, рудная минерализация представлена в основном пиритом, пирротинном и арсенопиритом, редко халькопиритом, галенитом и сфалеритом в концентрациях, не представляющих практического интереса. В рудах месторождения также присутствует серебро, которое не образует самостоятельных минералов. Оно входит в лигатурный состав самородного золота и извлекается в процессе аффинажа.

Условия локализации оруденения на стадии разведки изучены в общих чертах. Закономерных изменений содержания золота с глубиной в пределах горизонтов горных выработок и буровых скважин (150–250 м от дневной поверхности) не наблюдается. Распределение золота по рудным участкам — неравномерное или весьма неравномерное, гнездово-столбовое. Доля богатых руд (бонанцев) с содержанием более 6 г/т оценивается в 12–16 %. Средний для месторождения коэффициент вариации содержаний золота равен 174.

Коэффициент вариации мощности по рудным зонам составляет 96–125 %.

По сложности геологического строения месторождения Павлик, при установленных кондициях, было отнесено к 3 группе классификации ГКЗ.

При подготовке материалов ТЭО постоянных кондиций в 2018 г. было проведено блочное моделирование для выбора варианта бортового содержания. По вариантам оконтуривания (0,4–0,6–0,8 г/т) для ограничения объемов рудных тел были использованы соответствующие каркасы. Определение рудных интервалов было выполнено с учетом конструктивных особенностей карьера. Размер блока блочной модели был выбран исходя из размера сети бурения и составил 5×5×7,5 м с субблокировкой до 0,5×0,5×0,5 м. По результатам геостатистического анализа были определены направления и факторы осей поискового эллипсоида — одного для всех

тел месторождения. Положение поискового эллипсоида в целом повторяет геологическую интерпретацию положения рудных тел и характеризуется СЗ-ЮВ простиранием (азимут 125°) и падением 40° в СВ направлении. Соотношение длин 1-й: 2-й: 3-й осей выглядит как 5:4:3.

После придания пробам одинакового веса путем композитирования по длине интервала опробования было выполнено ограничение ураганных содержаний. Интерполяция содержаний выполнялась методом ординарного кригинга последовательно с увеличением радиуса осей от 1 до 5 зон влияния, определенных из геостатистического анализа.

Для исключения из оценки безрудных объемов в пределах каркасов рудных тел было выполнено тарирование по индикатору «руда — порода». Для каждого из вариантов оконтуривания было подобрано значение индикатора (вероятности), при котором объем рудных тел соответствовал объему, рассчитанному с использованием коэффициента рудоносности.

Сопоставление с традиционным подсчетом дало расхождение не более 7 %, что можно считать удовлетворительным результатом.

В настоящее время ведется отработка месторождения Павлик, которой затронуто около 5 % балансовых запасов в интервале высотных отметок +900 — + 650 м.

Выемка осуществляется уступами высотой 5–7,5 м; сеть скважин БВР — 6×6 м.

Для целей планирования и проведения добычных работ проведены исследования по уточнению (актуализации) особенностей строения месторождения по данным эксплуатационной разведки и отработки. Особое внимание уделено особенностям локализации рудных тел, положение которых на ранних стадиях работ оставалось неопределенным.

В основу исследований были положены результаты эксплуатационного опробования. Данные документации уступов карьера показывают, что визуализируемая геологическая информация не дает удовлетворительного представления об элементах залегания рудных тел, их морфологии и пространственного положения. Рудные тела в составе рудных зон идентифицируются только по данным опробования (рис. 3).

В качестве инструмента обобщения и анализа геологоразведочной информации использовано блочное моделирование, также статистические расчеты и структурный анализ нарушений.

Методика блочного моделирования во многом определяется задачами исследований и характером исходных данных [3]; с их учетом осуществляется выбор и обоснование параметров моделирования. Для изучения условий локализации оруденения в пределах пространства, затронутого отработкой, использовались данные опережающей и сопровождающей разведки. Моделирование проводилось в каркасах, ограничивающих все отработанное пространство. Наибольшее влияние на результаты моделирования оказывали данные опробования скважин БВР, расположенные по сетке 5×5 м. Интервал опробования этих скважин соответствовал высоте уступа. Интерполяция содержаний в ячейке модели размером 5×5×8 м осуществля-

Таблица 2
Распределение запасов руды и длины рудных тел по структурам различной ориентировки

Параметр	Простираение				
	0	30–45	90	120	130–135
запасы, %	17	7	30	4	42
длина, %	23	9	26	5	36

лась методом обратных квадратов расстояний с использованием сферической поисковой модели. Последовательное увеличение радиуса поиска от 5 до 25 м в пределах одного уступа (горизонта) практически не влияло на получаемое распределение золоторудной минерализации.

Как отмечалось выше, ведущим фактором локализации оруденения на золоторудном месторождении Павлик является его структурный контроль. На стадиях оценки и разведки месторождения рассматривалась приуроченность минерализованных зон к структурам западно-северо-западного направления с углами падения 60–80° на ССВ. Эта модель была положена в основу построения каркасов минерализованных зон и подсчета запасов месторождения.

По результатам исследований, проведенных по данным эксплуатационной разведки, выявлена более сложная картина пространственного размещения оруденения. Контуры рудных тел, выделенные по установленному бортовому содержанию (рис. 4) на планах горизонтов, обладают извилистостью, иногда резкими раздувами, пережимами и безрудными «окнами».

По этим данным по морфоструктурной классификации месторождение может быть отнесено к жильно-прожилковому типу с мозаично-блоковой структурой.

Для анализа рудоносных структур на представительных участках были выделены их осевые линии, оценено

количество (площади) рудных тел, связанных с конкретной ориентировкой структур или их сочетанием, определена длина структур в пределах рудного контура. По преобладающей ориентировке осевых линий рудных тел можно выделить структуры с азимутами простираения 0°, 45°–60°, 90°, 120° и 130°–135°. Результаты статистической обработки размещения запасов руды по структурам разного направления приведены в табл. 2.

Из приведенных данных следует, что на положение рудных тел и залежей, а также на их продуктивность, оказывают влияние системы тектонических нарушений, имеющих главным образом субширотную,



Рис. 4. Контуры рудных тел на фрагменте горизонта 764 м. Крестиками отмечено положение рудных (красное) и безрудных (синее) скважин БВР

северо-западную и субмеридиональную ориентировку в центральной части. Резко подчиненную роль играют структуры северо-восточного простирания. Рудные тела с азимутом простирания 120° отмечаются редко и относительно локально, в связи с чем далее они рассматриваются в составе единой системы структур северо-западной ориентировки (аз. простирания $120^\circ - 140^\circ$). Видно, что эти структуры в сумме определяют локализацию 46 % запасов руды. При этом их протяженность составляет около 40 %, что говорит об относительно большой мощности рудных тел, связанных с данным направлением. Такие же соотношения характерны для структур субширотного направления. В совокупности отмеченные структуры определяют локализацию 75–80 % запасов руды.

Структуры субмеридионального и северо-восточного направления характеризуются превышением доли их длины над долей запасов, что свидетельствует о повышенной мощности тел для этих направлений.

Достаточно наглядной является блочная модель, представляющая картину пространственного размещения содержаний золота в относительно «сглаженном» виде (рис. 5, план гор. 740). Она позволяет расшифровывать ориентировку структур, в том числе находящихся вне границ промышленного оруденения, по размещению различных концентраций золота. Кроме того, она дает возможность определять наличие и положение рудных столбов.

Анализ размещения концентраций золота на планах горизонтов и на разрезах (рис. 6) показывает их достаточно резкую дифференциацию, что позволяет гово-

рить о наличии рудных столбов концентрационного типа.

С целью выявления условий их локализации проведено изучение соотношений структур разной ориентировки с позиций распределения запасов. Установлено, что на участках, где сопрягаются структуры разной ориентировки локализуется около 40 % запасов руды. Сочетание структур с азимутом простирания 0° и 90° определяет локализацию около 8 % запасов руды, структур 0° и 135° — 15 %, а структур 90° и 135° — около 18 %.

При анализе размещения оруденения на планах горизонтов видно, что столбы приурочены к участкам сочетания структур разного направления. Чаще всего — это субширотные и субмеридиональные структуры, при блокирующей роли северо-восточных в контексте генерального северо-западного направления.

На основе проведенного анализа можно оценить характер взаимоотношений структур различного типа. Субширотные зоны следует определить как трещины скола, а северо-западные — как трещины отрыва; последние локализуются, как правило, висячем боку субширотных разрывов. Обе эти системы имеют падение на север и северо-восток под углами $60^\circ - 80^\circ$. С глубиной намечается их выполаживание до углов $50^\circ - 40^\circ$.

Субмеридиональные структуры имеют почти вертикальное падение. Они также являются дорудными, однако оруденение по ним распространяется на небольшое расстояние (10–20 м) от субширотных или северо-западных разрывов. По отношению к основным рудоносным структурам их можно рассматривать как «ограничители»; они определяют локальные раз-

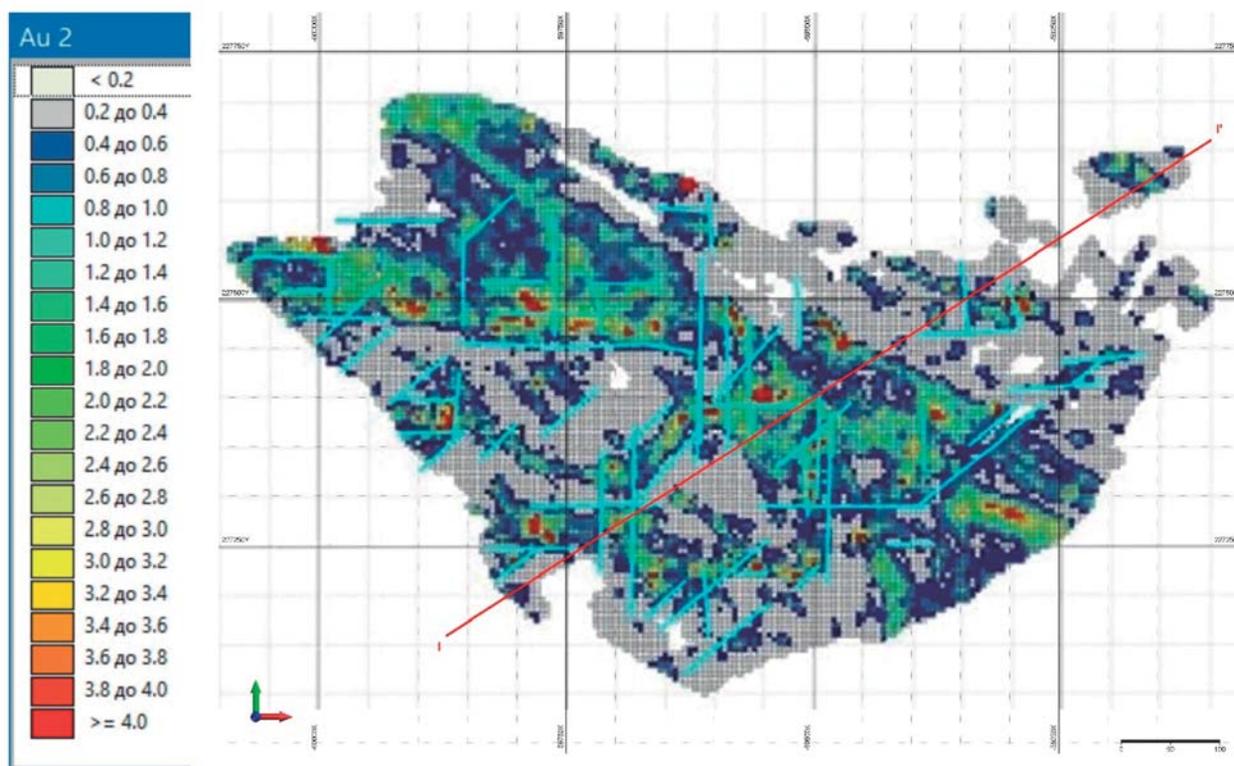


Рис. 5. Распределение содержаний золота по блочной модели (план гор.740)

дувы мощности или положение рудных столбов. Шаг между структурами в широтном направлении составляет 25–50, редко до 200 м. Они создают «блоковую» картину размещения оруденения, хотя можно говорить об отсутствии существенных перемещений по ним. Вместе с тем, указанное обстоятельство осложняет увязку рудных тел даже по данным опережающей эксплуатационной разведки. Возможно, что в пострудное время по этим структурам также происходили неотектонические перемещения, однако их значение еще предстоит уточнить.

Северо-восточные структуры ограничивают относительно крупные блоковые постройки и в ряде случаев вмещают оруденение. Структуры данной ориентировки почти совпадают с направлением разведочных профилей, в связи с чем определение их положения, а также оценка роли в размещении полезного ископаемого на ранних стадиях работ были невозможны. Максимум тектонической неоднородности тяготеет к центральной части месторождения (главный таксон в системе рудных зон). На флангах месторождения тектоническое строение упрощается, где начинают преобладать линейные формы рудных тел. Однако отработкой фланги еще не затронуты, что не позволяет дать их подробное описание.

Представляется, что эти факторы в совокупности, а также наличие оруденения в структурах северо-восточной ориентировки, повлияли на то обстоятельство, что по результатам сопоставления за пределами утвержденных границ рудных зон оказалось значительное количество руды. Вместе с тем, содержание золота в этих запасах оказалось существенно ниже (почти в 2,5 раза), чем в рудах в пределах контура; количество «законтурного» золота составило только 35 % от утвержденных запасов.

Выводы

1. Результаты эксплуатации и отработки подтвердили основные особенности геологического строения месторождения Павлик и условия локализации золотого оруденения на уровне рудных зон. Анализ данных эксплуатационной разведки выявил сложную картину размещения рудных тел в пределах зон и на их периферии.

2. Основными рудоконтролирующими структурами в центральной части месторождения являются зоны трещиноватости, имеющие субширотную и северо-западную ориентировку с азимутами простирания 90° и 120°–140°. Данные структуры определяют локализацию около 75 % запасов руды. Субмеридиональные структуры часто играют роль ограничителей, определяя «блоковый» характер размещения оруденения; они влияют также на положение рудных столбов в пределах месторождения. Северо-восточные структу-

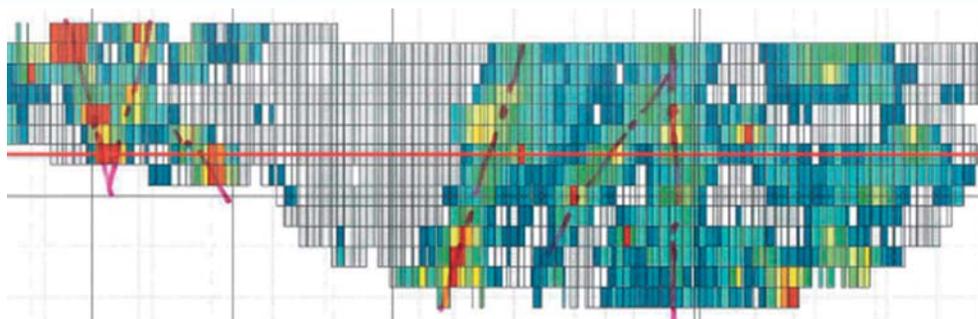


Рис. 6. Распределение содержаний золота в разрезе по блочной модели (разрез I–I)

ры служат ограничителями более крупных структурно-морфологических элементов, оценка которых выходит за границы статьи.

3. Важным инструментом дешифрирования особенностей геологического строения объекта на основе обобщения и анализа большого объема геологоразведочной информации, полученной в процессе эксплуатации, является блочное моделирование. Его результаты могут использоваться также для оперативного планирования добычных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров, С.А. Локализация таксонов геохимического поля ореолообразующей и рудообразующей системы в масштабах 1:1 000 000–1:2000 (структурная геохимия) / С.А. Григоров. — М.: ИМГРЭ, 2018. — 169 с.
2. Каждан, А.Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых / А.Б. Каждан. — М.: Недра, 1974. — 272 с.
3. Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа. — М.: ГКЗ, 2016.

© Григоров С.А., Кушнарёв П.П., 2019

Григоров Сергей Александрович // grigorov.sergey@pavlik-gold.ru
Кушнарёв Павел Петрович // kushnaryov2006@yandex.ru

УДК 553.08+553.26

Кудрин К.Ю. (ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск)

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУДАХ ПРОЯВЛЕНИЯ «ЗАПАДНОЕ» (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Благородные металлы — золото и серебро — представлены преимущественно теллуридами: гесситом, штюцитом, вольнскитом, матильдитом, цервеллеитом, петцитом и сальванитом; реже — самородным золотом. Вмещающей минеральной матрицей чаще всего являются сульфиды: сфалерит, пирротин, халькопирит, пирит; реже — галенит. Формирование теллуридов и самородных элементов протекало в диапазоне температур 131–281°С. Ключевые слова: Приполярный Урал, медно-цинковые руды, теллуриды, хлориты.

Precious metals — gold and silver — tellurides are mainly: hessite, stutzite, volynskite, matildite, cervelleite, petzite and sylvanite; rarely native gold. The host mineral matrix is most often sulfides: sphalerite, pyrrhotite, chalcopyrite, pyrite; rarely — galena. Formation of tellurides and native elements occurred in the temperature range 131–281°С. Keywords: Subpolar Urals, copper-zinc ores, tellurides, chlorites.

Введение

Проявление «Западное» выявлено при проведении поисковых работ на железные руды в 1988 г. в юго-восточной экзоконтактовой зоне Хорасюрского массива (рис. 1) на восточном склоне Приполярного Урала (Комарицкий С.И. «Подготовка геофизической основы для поисков (опережающие работы) железных руд скарново-магнетитовой формации на Усыньин-

ской площади в 1988–1990 гг.», ОАО «Сосьвапромгеология», 2001 г.). Пробирный анализ медно-цинковых руд показал постоянное присутствие в них значительной примеси золота (до 3,19 г/т, среднее — 0,36–0,46 г/т) и серебра (до 19,95 г/т, среднее — 4,39 г/т). Подсчитанные авторские ресурсы (сумма кат. P₂ и P₃) составили: золото — 8,9 т, серебро — 361,1 т.

В 2006–2009 гг. на Западной площади выполнены прогнозно-поисковые работы на медь (ОАО «Уральская геологическая съемочная экспедиция», Екатеринбург, Батулин С.Ю.): выявлено две сложно построенные рудные залежи («Западная» и «Новая») (рис. 1); авторские ресурсы золота кат. P₁+P₂ составили 26 т, ресурсы серебра не оценивались. Содержание золота достигает 24,1 г/т (среднее в рудной залежи «Западная» 0,53 г/т, в рудной залежи «Новая» — 0,73 г/т); содержание серебра — до 69,6 г/т.

Минералого-геохимические исследования медно-цинковых руд, выполненные в Институте минералогии УрО РАН (г. Миасс), показали, что особенностью пирротина, пирита, халькопирита и сфалерита проявления «Западное» является повышенное содержание Ag и промышленно значимое содержание Au, а также появление серебросодержащего сфалерита. Выделены сфалерит-серебро-галенитовая и халькопирит-золото-серебро-теллуридная ассоциации, «...очевидно, представленные тонкой рассеянной невидимой минерализацией в халькопирите и сфалерите». По результатам этих исследований проявление «Западное» предположительно отнесено к золото-серебро-медно-цинковому сульфидному скарновому типу. Аналогами проявления медно-цинковых руд «Западное» предложены месторождения Тарньерское (медноколчеданное) и Сарбайское (скарновое) на Северном и Среднем Урале:

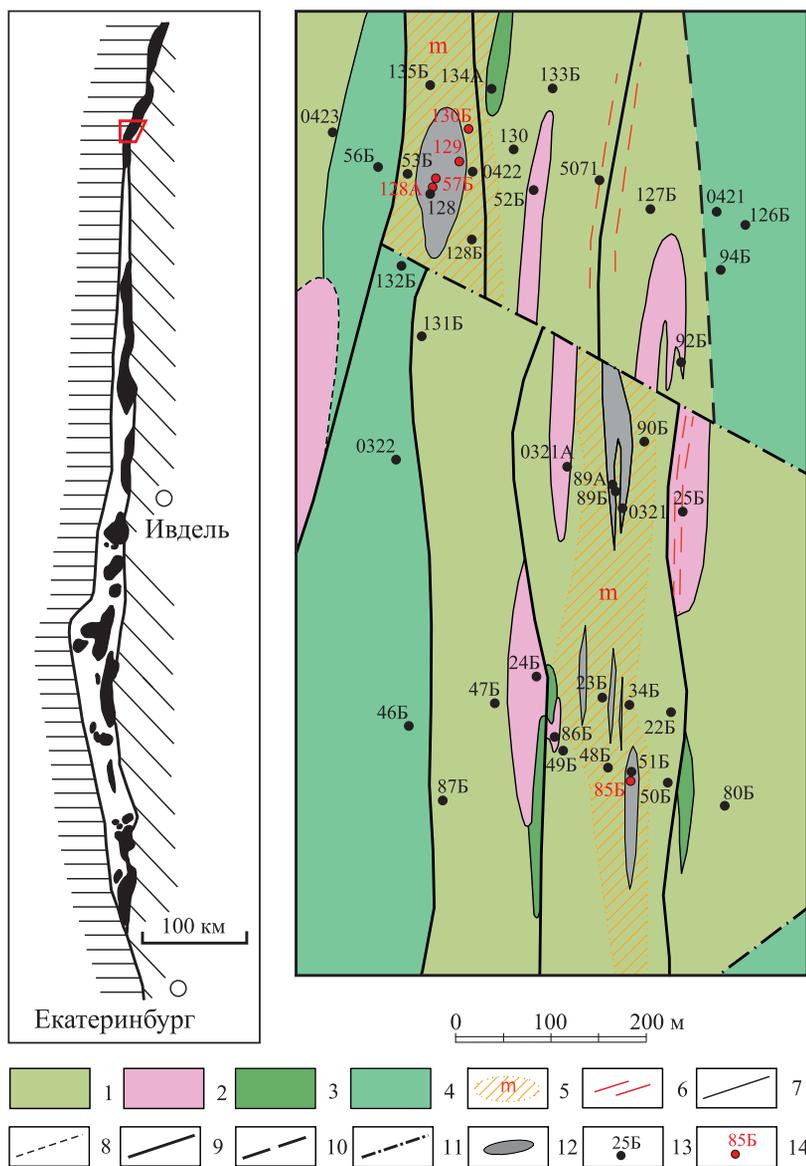


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Западной площади (по С.Ю. Батулин, ОАО «УГСЭ», 2009 г.): 1 — тектоно-инъекционно-метасоматический рудовмещающий комплекс. Роговики по габброидам, дайковым породам и предположительно вулканогенно-осадочным образованиям шемурской свиты (O₃-S₃m), метасоматиты нерасчлененные; 2 — кварцевые диориты второй фазы северорудничного комплекса (qδS₂); 3 — микрогаббродиориты второй фазы тагилкоктылымского комплекса (μδS₁t₂); 4 — амфиболовое и амфиболлизированное габбро второй фазы тагилкоктылымского комплекса (υS₁t₂); 5 — метасоматиты альбит-кварц-хлоритовые, кварц-эпидот-хлоритовые, эпидот-пренитовые нерасчлененные; 6 — бластокатаклазиты и бластомилониты; 7–8 — геологические границы: 7 — установленные; 8 — предполагаемые; 9–11 — тектонические нарушения: 9 — установленные; 10 — предполагаемые; 11 — по геофизическим данным; 12 — контуры рудных тел; 13 — разведочные скважины и их номера; 14 — разведочные скважины, по керну которых изучена благороднометалльная минерализация

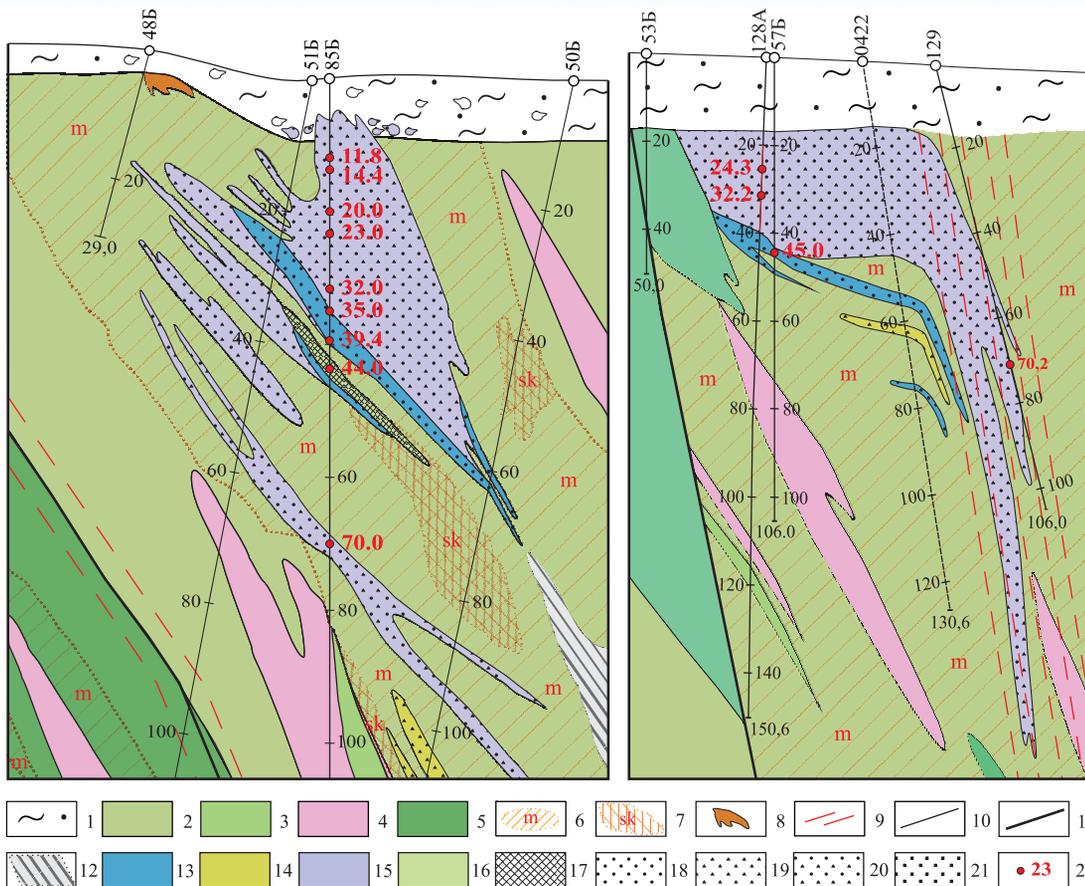


Рис. 2. Проявление «Западное». Рудное тело «Новое» (слева) и рудное тело «Западное» (справа). Геологические разрезы (по С.Ю. Батурину, ОАО «УГСЭ», 2009 г.) и схема отбора образцов на минералогические исследования: 1 — рыхлые четвертичные отложения; 2 — дайки спессартитов; 3 — тектоно-инъекционно-метасоматический рудовмещающий комплекс; 4 — кварцевые диориты второй фазы северорудничного комплекса ($q\delta S_2 S_2$); 5 — микроаббродиориты второй фазы тагилытлымского комплекса ($\mu\delta S_1 t_2$); 6 — метасоматиты; 7 — скарны; 8 — железная шляпа; 9 — бластомилониты и бластокатаклазиты; 10 — геологические границы; 11 — тектонические нарушения; 12 — предполагаемые рудные тела; 13–16 — колчеданные руды: 13 —

медные ($Cu > 0,7\%$); 14 — цинковые ($Zn > 1\%$); 15 — медно-цинковые ($Cu > 0,7\%$; $Zn > 1\%$); 16 — серные ($S > 35\%$); 17–21 — сорта руд (краспо соответствующему цвету): 17 — сплошные массивные; 18 — вкрапленные медные; 19 — вкрапленные цинковые; 20 — вкрапленные медно-цинковые; 21 — некондиционные ($Cu < 0,7\%$; $Zn < 1\%$; $S < 35\%$); 22 — точки отбора материала на электронно-зондовые исследования

по комплексу имеющихся минералогических признаков оно признано промежуточным между ними [9].

Таким образом, анализ результатов ранее проведенных работ на проявлении «Западное» показывает, что остались открытыми вопросы: 1) о форме нахождения золота и серебра в медно-цинковых рудах; 2) о месте золота и серебра в рудообразующем процессе.

Методы исследования

Минералогические исследования проведены на электронном сканирующем микроскопе JSM-6510LV (Jeol Ltd) с энерго-дисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 с детектором X-Max-80 (Oxford Instruments Analytical Ltd) при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе электронного пучка 0,3–0,5 нА, время при наборе спектров 10 с (г. Новосибирск, Институт геологии и минералогии СО РАН, аналитик Карманов Н.С.). Изучено 14 проб, отобранных из керна скважин 85Б (рудная залежь «Новая») и 57Б, 128А, 129, 130Б (рудная залежь «Западная») (рис. 2). Всего выполнено 954 определения состава рудообразующих минералов, из них в 140 зафиксировано присутствие благородных металлов. Номенклатура благородно-металлических минералов определена в соответствии с [4]. Поскольку размер анализируемых зерен часто оказывался равен (или немного меньше) сечению пучка анализатора, результаты анализов включали и цифры,

относящиеся к вмещающей минеральной матрице. Поэтому при определении состава минерала вводилась корректировка на состав минерала-хозяина.

Кроме того, электронно-зондовым методом изучен компонентный состав более чем 100 зерен хлорита, для 78 установлена температура образования с использованием геотермометра по [10].

Минералогия золота и серебра руд проявления «Западное»

В составе руд проявления «Западное» установлено присутствие следующих минеральных видов, в которых благородные металлы играют основную роль: гессит, самородное золото, петцит, вольтинскит, штюцит, цервеллеит, матильдит, сильванит.

Гессит (Ag_2Te) встречен во всех изученных образцах в виде мельчайших выделений, изредка достигая 10, крайне редко — 30 мкм. Минерал образует как самостоятельные зерна, так и участвует в сростаниях с другими теллуридами (реже с самородным золотом). Наиболее часто гессит наблюдается в сульфидах — сфалерите, халькопирите, пирите, пирротине и галените, реже — в силикатах (хлорите, биотите, плагиоклазе, эпидоте и гранате).

В связи с этим следует отметить некоторые особенности. Во-первых, гессит (часто совместно с другими теллуридами) образует цепочку линейно вытянутых зерен, что указывает на контроль их расположения

Таблица 1
Состав гессита (%) и характеристика вмещающей минеральной матрицы

n	Состав				Вмещающая минеральная матрица	n	Состав				Вмещающая минеральная матрица
	Ag		Te				Ag		Te		
	min	max	min	max			min	max	min	max	
Скважина 85Б, глубина 11.8 м						Скважина 85Б, глубина 39.4 м					
18	54,51	63,52	36,48	42,44	Сфалерит, пирротин	5	57,86	64,34	35,66	42,14	Халькопирит, хлорит, пирит, гранат
Скважина 85Б, глубина 14.4 м						Скважина 85Б, глубина 44.0 м					
5	58,23	62,87	37,13	41,77	Сфалерит, плагиоклаз, хлорит	15	55,94	63,84	33,15	44,06	Хлорит
Скважина 85Б, глубина 20.0 м						Скважина 85Б, глубина 70.0 м					
10	61,70	63,33	36,67	38,30	Халькопирит, хлорит, пирит, сфалерит, эпидот	11	61,36	63,70	36,30	38,64	Пирит, сфалерит, хлорит
Скважина 85Б, глубина 23.0 м						Скважина 57Б, глубина 45.0 м					
5	59,27	62,44	37,56	40,73	Сфалерит, халькопирит, пирит	5	62,28	65,06	34,94	37,72	
Скважина 85Б, глубина 32.0 м						Скважина 128А, глубина 24.3 м					
1		62,84		37,16	Сфалерит	1		62,42		37,58	Халькопирит
Скважина 85Б, глубина 35.0 м						Скважина 130Б, глубина 64.6 м					
7	60,86	63,36	36,64	39,14	Сфалерит, алтаит, пирит, пирротин, хлорит, плагиоклаз	5	62,44	63,22	36,78	37,56	Сфалерит, пирротин, пирит

Примечание: n — количество анализов

микротрещинами или межзерновым пространством; эта особенность наблюдается исключительно при его размещении в сульфидах. Во-вторых, минерал (а так-

же его сростки с другими теллуридами) встречается в виде изометричных вкраплений, не обнаруживающих связи с трещиноватостью: в сульфидах (при этом, гессит имеет прямолинейные очертания) или в силикатах (минерал либо имеет волнистые и заливообразные границы, либо образует тончайшую сыпь зерен, характер ограничения которых оценить весьма затруднительно).

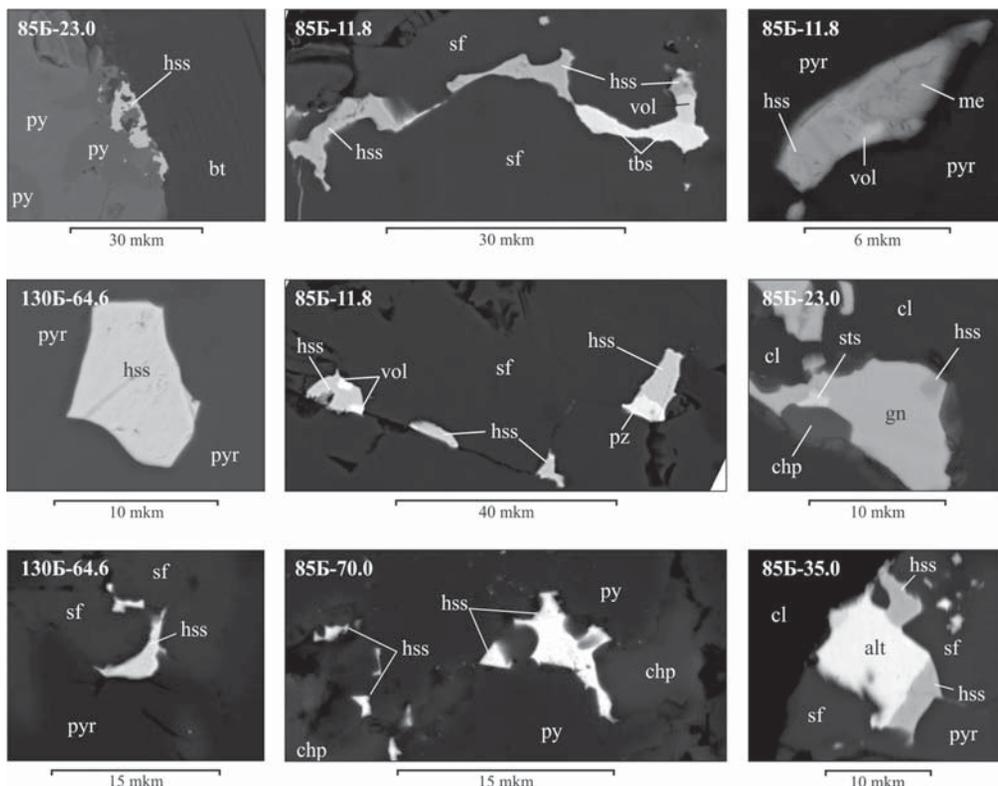


Рис. 3. Формы выделения гессита в рудах проявления «Западное». В левом верхнем углу — номер скважины и глубина отбора пробы: hss — гессит; me — мелонит; pz — петцит; vol — вольтцит; tbs — теллуровисмутит; sts — штютцит; alt — алтаит; py — пирит; pyr — пирротин; sf — сфалерит; chp — халькопирит; gn — галенит; bt — биотит; cl — хлорит

Гессит охотно образует сростания (вплоть до постепенных взаимопереходов) с другими теллуридами — вольтцитом, петцитом, теллуровисмутитом, мелонитом и алтаитом. Особенности состава гессита по результатам электронно-зондовых исследований приведены в табл. 1, формы выделения гессита в рудах проявления «Западное» представлены на рис. 3.

Самородное золото (рис. 4) зафиксировано в шести пробах, во всех минералогических типах руд залежей «Новая» и «Западная» по всему верти-

кальному размаху оруденения; образует мелкие выделения, изредка достигая 12 мкм. Встречается обычно самостоятельно, крайне редко наблюдаются сростки с петцитом и гесситом. Особенности распространения — образует выделения по микротрещинам или в межзерновом пространстве сульфидов (сфалерит, халькопирит, галенит); при развитии вторичных минералов (хлорит, эпидот, амфибол) — с волнистыми и заливообразными контактами. В составе (табл. 2) постоянно присутствует значительная примесь серебра

вплоть до появления электрума (только в медно-цинковых рудах). С глубиной пробы самородного золота возрастает.

Петцит (Au_3AgTe_2) редок, встречен в материале трех проб, отобранных из керна скважины 85Б (залежь «Новая»), приурочен к сфалериту (как правило, к трещинам спайности), всегда присутствует совместно с другими благороднометалльными теллуридами (гесситом, цервеллеитом), образуя мелкие вкрапленники неправильной формы размером менее 5 мкм во всех минералогических типах руд. Особенности состава петцита по результатам электронно-зондовых исследований приведены в табл. 3, формы выделения петцита в рудах проявления «Западное» представлены на рис. 4.

Волынскит (AgBiTe_2) отмечен в двух пробах вкрапленных медно-цинковых руд, отобранных из керна скважины 85Б (залежь «Новая»), приурочен к сфалериту и пирротину, обычно присутствует в виде сростков с гесситом, мелонитом и теллуровисмутитом, реже образует самостоятельные зерна, иногда имеющие гипидиоморфные субпризматические очертания, достигающая при этом 15 мкм. На контакте с хлоритом волынскит приобретает бесформенные комковатые очертания. Особенности состава волынскита по результатам электронно-зондовых исследований приведены в табл. 3, формы выделения волынскита в рудах проявления «Западное» представлены на рис. 4.

Штютцит (Ag_5Te_3) отмечен в трех пробах вкрапленных медно-цинковых руд, отобранных из керна скважины 85Б (залежь «Новая»), приурочен к пирротину и галениту и к силикатным минералам (эпидоту и андрадиту), образует самостоятельные зерна изометричных очертаний размером до 7 мкм и имеет четкие резкие очертания. Особенности состава

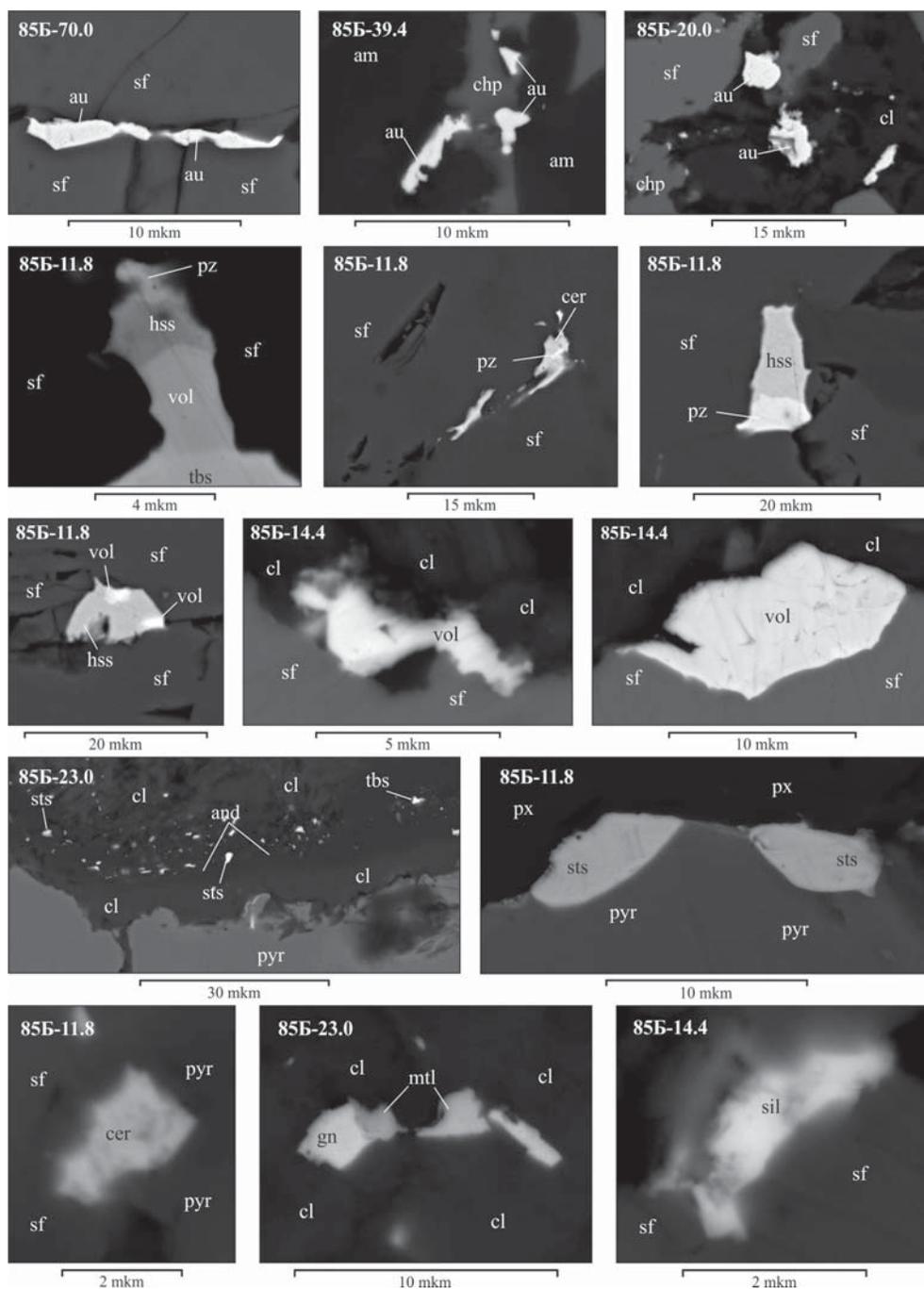


Рис. 4. Формы выделения самородного золота (верхний ряд), петцита (второй ряд), волынскита (третий ряд), штютцита (четвертый ряд), матильдита, цервеллеита и сильванита (нижний ряд) в рудах проявления «Западное»: au — самородное золото; am — амфибол; cer — цервеллеит; pl — плагиоклаз; and — андрадит; px — пироксен; mtd — матильдит; sil — сильванит; прочие сокращения и обозначения см. на рис. 3

штютцита по результатам электронно-зондовых исследований приведены в табл. 3, формы выделения штютцита в рудах проявления «Западное» представлены на рис. 3 и 4.

Цервеллеит (Ag_4TeS), **матильдит** (AgBiS_2) и **сильванит** ($(\text{Au}, \text{Ag})_2\text{Te}_4$) в виде единичных зерен встречены в четырех пробах, отобранных из керна вкрапленных медно-цинковых руд в скважинах 85Б (залежь «Новая») и

Таблица 2

Состав самородного золота (%) и характеристика вмещающей минеральной матрицы

n	Состав				Вмещающая минеральная матрица	n	Состав				Вмещающая минеральная матрица
	Au		Ag				Au		Ag		
	min	max	min	max			min	max	min	max	
Скважина 85Б, глубина 20.0 м						Скважина 85Б, глубина 39.4 м					
4	61,62	65,94	34,06	38,38	Хлорит, плагиоклаз, сфалерит, халькопирит	7	67,77	76,23	23,77	32,23	Амфибол, хлорит, халькопирит, галенит, петцит, плагиоклаз
Скважина 85Б, глубина 35.0 м						Скважина 85Б, глубина 70.0 м					
1		70,74		15,48	Сфалерит	5	60,27	78,02	21,98	39,73	Сфалерит, гессит
Скважина 85Б, глубина 44.0 м						Скважина 128А, глубина 24.3 м					
2	69,51	69,87	30,13	30,49	Хлорит	2	47,54	48,93	51,07	52,46	Халькопирит

Таблица 3

Состав (%) петцита, волинскита, штютцита, цервеллеита, сильванита, матильдита и характеристика вмещающей минеральной матрицы

n	Состав										Вмещающая минеральная матрица
	Au		Ag		Bi		S		Te		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Петцит											
Скважина 85Б, глубина 11.8 м											
4	23,23	41,73	38,15	44,00					20,12	33,96	Сфалерит
Скважина 85Б, глубина 39.4 м											
1		34,57		41,88						23,55	Амфибол, хлорит
Скважина 85Б, глубина 44.0 м											
1		24,76		50,93						24,30	хлорит
Волинскит											
Скважина 85Б, глубина 11.8 м											
3			18,25	22,76	35,64	35,92			41,32	46,06	Сфалерит, гессит
Скважина 85Б, глубина 14.4 м											
3			18,51	18,71	35,74	36,65			44,64	45,86	Хлорит, сфалерит
Штютцит											
Скважина 85Б, глубина 11.8 м											
2			57,70	57,95					42,05	42,30	Пирротин
Скважина 85Б, глубина 20.0 м											
1				53,42						40,18	Эпидот
Скважина 85Б, глубина 23.0 м											
3			58,97	62,56					37,44	41,03	Андрадит, галенит
Цервеллеит											
Скважина 85Б, глубина 11.8 м											
3	2,87*	4,43*	55,63	59,86			2,14	4,88	31,99	39,16	Сфалерит, пирротин
Скважина 128А, глубина 24.3 м											
1				58,81				5,98		35,21	Сфалерит
Сильванит											
Скважина 85Б, глубина 14.4 м											
1		21,07		23,31						55,62	Сфалерит
Матильдит											
Скважина 85Б, глубина 23.0 м											
2			21,77	23,03	56,58	58,51	18,45	18,61			Галенит, хлорит

128А (залежь «Западная»). Обнаруживают тесную ассоциацию с пирротином, сфалеритом (цервеллеит и сильванит) и хлоритом (матильдит) (рис. 4). Составы минералов приведены в табл. 3.

Результаты термометрии руд проявления «Западное»

Хлорит является сквозным минералом руд проявления «Западное»: при проведении аналитических исследований отмечен во всех изученных образцах. Результаты термометрии (табл. 4, рис. 5) показали, что хлориты образовывались в широком диапазоне температур (от 101 до 333 °С), при этом четко видно, что расположенные по возрастанию температуры данные образуют 6 дискретных групп, разделенных между собой температурным разрывом от 10 до 20 °С. Следует отметить, что с ростом (уменьшением) температуры меняется форма выделения хлоритов и парагенетическая ассоциация с другими минералами (в том числе сульфидами, теллуридами и самородными элементами).

Первая температурная (высокотемпературная) ассоциация хлоритов (с1¹) выделена в интервале 290–333 °С. Хлориты этой ассоциации характеризуются волокнистым строением, активно развиваются по пороодообразующим амфиболам, пироксенам и оливину (рис. 6). Изредка встречаются в виде самостоятельных прожилков или представляют собой реликты среди низкотемпературного позднего хлорита. Наиболее характерен для образцов, отобранных из рудной залежи «Западная» в широком диапазоне глубин от поверхности. Изредка с хлоритами ассоциируют сульфиды (пирротин и галенит). Связь с теллуридами и самородными элементами не установлена.

Следующая ассоциация хлоритов (с1²) сформировалась в диапазоне температур 241–281 °С. Распространены преимущественно в рудах залежи «Новая» и характеризуются широким диапазоном форм проявления и глубин от поверхности. Наиболее распространены хлориты, которые активно замещают зерна плагиоклаза (рис. 6); в меньшей степени — хлориты, развивающиеся по эпидоту, биотиту и амфиболу; в резко подчиненном количестве — хлориты, замещающие гранат, хлорит и слагающие прожилки. Установлено, что с хлоритами (температура 256 °С), которые развиваются по более раннему хлориту, связано появление гессита, а с хлоритом (температура 273 °С), замещающим амфибол, ассоциирует самородное золото.

Следующий температурный диапазон (204–223 °С) (с1³) представлен относи-

тельно малочисленными зернами хлорита, установленными исключительно в рудной залежи «Новая» в широком диапазоне глубин от поверхности. Среди них преобладают хлориты, развитые по более ранним хлоритам (рис. 6); реже отмечаются хлориты, слагающие прожилки; в единичных случаях устанавливаются хлориты, развивающиеся по зернам амфибола, плагиоклаза, эпидота и биотита. С хлоритами описываемой ассоциации связано появление в рудах гессита (наблюдается в тесной связи с хлоритом (температура 217 °С), замещающим более ранний хлорит) и электрума (с хлоритом (температура 209 °С), развивающимся по плагиоклазу).

Хлориты ассоциации (с1⁴), сформировавшейся в интервале температур 172–194 °С, установлены в обеих рудных залежах (при резком преобладании в залежи «Новая»). Ассоциация представлена всеми выделенными типами хлорита примерно в равной степени (рис. 6). С хлоритом (температура 182 °С) данного температурного интервала фиксируется появление алтаита (однако тип хлорита установить не удалось).

Следующая ассоциация объединяет хлориты (с1⁵), образование которых ограничивается температурным диапазоном от 131 до 161 °С. Распространены преимущественно в рудной залежи «Новая». Ассоциация представлена в основном хлоритами, развивающимися по более ранним хлоритам (рис. 6); отмечаются единичные хлориты, замещающие эпидот, развитые по плагиоклазу и образующие прожилки. С хлоритами (температура 132 °С), развивающимися по эпидоту, фиксируется появление гессита; с хлоритами (температура 153–159 °С), замещающими более ранний хлорит, отмечается появление сульфозумоита.

Последняя (низкотемпературная) ассоциация хлоритов (с1⁶) сформировалась в интервале температур 101–120 °С. Пользуется распространением преимущественно в рудной залежи «Новая» и представлена, как

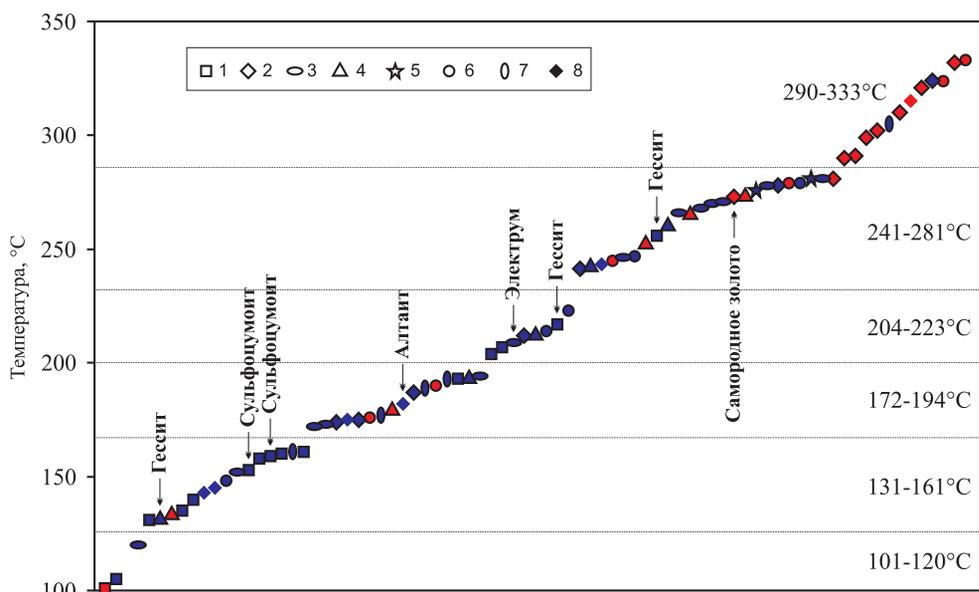


Рис. 5. Температурный диапазон [13] формирования хлоритов руд проявления «Западное», формы их проявления и связь с теллуридами и самородными элементами

Таблица 4
Химические составы и температуры образования хлоритов

№ п/п	Образец	Точка	Температура, °С	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	SO ₃	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Хлориты первой температурной ассоциации (сl ¹)											
1	128А-24,3	5-8	101	28,07	6,02	52,49	0,48	0,94			По хлориту
2	85Б-23,0	10-11	105	30,14	13,36	44,03			0,47		По хлориту
3	85Б-39,4	5-10	120	29,11	12,42	44,60	0,41		0,76		По плагиоклазу
Хлориты второй температурной ассоциации (сl ²)											
4	85Б-23,0	3-9	131	25,93	3,56	57,73			0,31	0,47	По хлориту
5	85Б-20	5-11	132	28,47	9,10	47,19		3,10	0,15		По эпидоту
6	128А-24,3	5-5	134	30,29	15,64	38,05	1,63	2,40			По биотиту
7	85Б-23,0	7-16	135	26,28	5,74	54,00		0,45			По хлориту
8	85Б-23,0	3-12	140	25,46	3,38	57,96			0,27	0,92	По хлориту
9	85Б-23,0	6-4	143	25,67	3,05	58,04		0,63	0,62		Неустановленного типа
10	85Б-20	1-6	145	26,88	6,80	51,30		2,02	0,33	0,67	Неустановленного типа
11	85Б-39,4	4-9	148	29,07	13,63	42,54	0,38	1,96	0,42		Прожилок
12	85Б-39,4	5-12	152	28,43	12,84	44,52	0,39	1,21	0,36		По плагиоклазу
13	85Б-23,0	3.2-13	153	25,94	5,34	54,70		0,91	0,48	0,63	По хлориту
14	85Б-70,0	5-6	158	29,02	12,54	40,85		5,20	0,39		По хлориту
15	85Б-23,0	3.2-11	159	25,94	5,36	55,25		1,04	0,41		По хлориту
16	85Б-20	4-8	160	27,02	8,21	50,17		2,34	0,27		По хлориту
17	85Б-20	1-5	161	28,55	13,48	41,33	0,63	3,02	0,29	0,69	Реликты в хлорите
18	85Б-35	2-7	161	27,70	11,85	47,25		0,32	0,88		По хлориту
Хлориты третьей температурной ассоциации (сl ³)											
19	85Б-44	1-5	172	28,24	13,66	40,29		4,13	0,27	1,41	По плагиоклазу
20	85Б-11,8	6-12	173	28,54	15,15	38,67		3,08	0,84	0,46	По плагиоклазу
21	85Б-20	2-3	174	31,64	15,33	19,82	0,31	16,81		0,48	По амфиболу
22	85Б-20	1-7	175	25,96	6,96	53,54		1,54			Неустановленного типа
23	85Б-44	8-9	175	28,42	13,00	40,64		5,14	0,37		По пироксену
24	130Б-64,6	6-4	176	26,78	10,82	49,91			0,49		Прожилок
25	85Б-23,0	5-8	177	30,24	19,65	33,03	0,72	4,35			Реликты в хлорите
26	128А-32,2	3-11	180	29,41	16,40	34,06	1,74	5,89	0,18	0,32	По эпидоту
27	85Б-44	14-3	182	27,10	12,66	46,45		0,68	0,56		Неустановленного типа
28	85Б-39,4	1.2-9	187	27,96	13,17	41,54		3,96	1,38		По амфиболу
29	85Б-44	11-5	189	29,98	13,59	28,13		12,70	0,67		Реликты в хлорите
30	128А-32,2	5-4	190	27,15	13,33	43,50	0,33	1,24	1,61		Прожилок
31	85Б-23,0	3.2-12	193	27,02	14,06	45,94		0,40		0,58	Реликты в хлорите
32	85Б-44	10-4	193	28,37	14,59	39,36		5,43	0,26		По хлориту
33	85Б-39,4	2-8	194	27,42	12,65	43,45		3,43	0,72		По биотиту
34	85Б-39,4	3-4	194	27,50	14,34	43,78		1,33	1,05		По плагиоклазу
Хлориты четвертой температурной ассоциации (сl ⁴)											
35	85Б-44	1-3	204	27,14	14,44	42,38		2,23	0,53	0,75	По хлориту
36	85Б-20	1-4	207	26,59	13,90	43,85	1,36	1,39		0,46	По хлориту
37	85Б-20	6-15	209	26,96	15,76	39,57	0,94	2,27	0,42		По плагиоклазу
38	85Б-39,4	1-2	212	26,61	13,75	45,52	0,26	1,40	0,34		По амфиболу
39	85Б-44	8-6	213	27,31	14,83	41,18		3,65	0,79		По эпидоту
40	85Б-70,0	1-10	214	27,05	13,05	41,09		6,01			Прожилок
41	85Б-44	15-6	217	27,84	13,96	36,99		8,09			По хлориту
42	85Б-35	7-7	223	26,55	15,08	44,94		1,16	0,27		Прожилок

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Хлориты пятой температурной ассоциации (сl ⁵)											
43	85Б-20	2-4	241	28,78	16,66	25,81	0,37	13,93	0,24	0,36	По амфиболу
44	85Б-20	6-13	243	26,66	16,07	40,40	0,64	4,07	0,16	0,57	По эпидоту
45	85Б-44	9-13	243	26,21	15,77	43,85		2,17			Неустановленного типа
46	128А-24,3	1-8	245	25,16	14,43	47,14			0,37	0,33	Прожилок
47	85Б-39,4	3-13	246	26,44	16,39	40,59		3,62	0,36		По плагиоклазу
48	85Б-70,0	3а-4	247	26,52	14,02	39,16	0,45	7,29	0,25	0,32	Прожилок
49	128А-32,2	4-3	253	25,75	15,85	44,18	0,36	1,31	0,54		По биотиту
50	85Б-44	15-3	256	25,78	16,16	44,22		1,84			По хлориту
51	85Б-23,0	1-6	261	26,91	12,62	33,83		11,75	0,77		По биотиту
52	85Б-35	6.2-8	266	25,68	17,61	43,62		0,93	0,16		По плагиоклазу
53	128А-32,2	1.3-6	266	26,41	17,22	35,97	1,12	6,53			По эпидоту
54	85Б-35	6-10	268	26,02	18,78	41,33		1,34	0,53		По плагиоклазу
55	85Б-44	5-2	270	26,03	16,77	40,24		4,96			По плагиоклазу
56	85Б-11,8	5-2	271	25,18	16,15	44,42	0,56	1,35	0,34		По плагиоклазу
57	128А-24,3	2-6	273	24,19	13,56	50,07			0,19		По амфиболу
58	128А-24,3	4-6	274	24,48	14,85	48,67					По биотиту
59	85Б-23,0	2.2-1	276	24,28	14,49	45,20	2,49	0,57	0,28	0,69	По андрадиту
60	85Б-35	6-8	278	25,68	17,61	43,62		0,93	0,16		По плагиоклазу
61	85Б-70,0	2-8	278	25,96	16,25	36,85	0,33	7,85			По амфиболу
62	57Б-45	2-7	279	26,47	17,15	34,30	0,33	9,28		0,46	Прожилок
63	85Б-35	5-4	279	25,61	16,14	40,72		4,95			Прожилок
64	85Б-23,0	2-11	281	24,14	14,75	44,91	2,43	0,66	0,19	0,92	По андрадиту
65	85Б-11,8	1-14	281	24,55	16,31	44,03	0,45	1,29		0,69	По плагиоклазу
66	128А-32,2	1.2-18	281	26,13	17,81	35,32	1,10	7,02			По амфиболу
Хлориты шестой температурной ассоциации (сl ⁶)											
67	128А-32,2	1.3-1	290	25,72	17,41	36,29	1,12	6,95			По амфиболу
68	128А-32,2	1.3-4	291	25,66	18,64	35,91	1,13	5,46	0,27		По амфиболу
69	128А-32,2	1.2-1	299	25,68	18,39	36,44	0,92	6,57			По амфиболу
70	57Б-45	4-5	302	25,86	18,44	34,91	0,77	8,02			По оливину
71	85Б-23,0	3-8	304	25,76	17,89	34,39	1,18	8,78			Реликты в хлорите
72	128А-32,2	1.3-16	310	24,94	18,22	38,52	1,14	4,76	0,30		По амфиболу
73	128А-24,3	7-11	315	23,78	17,51	46,48			0,22		Неустановленного типа
74	57Б-45	4-7	321	24,95	19,01	35,46	0,59	7,09			По оливину
75	85Б-70,0	5-5	324	25,05	18,54	36,18	0,35	7,87			По амфиболу
76	130Б-64,6	1-8	324	23,28	18,45	39,56	3,51	0,66	0,16	0,38	Прожилок
77	128А-24,3	6-5	332	23,81	19,19	42,91	0,41	1,28	0,39		По амфиболу
78	128А-24,3	3-6	333	23,81	18,79	42,70	0,53	2,18			Прожилок

правило, хлоритами, развивающимися по более ранним хлоритам (рис. 6). Появление теллуридов и самородных элементов с хлоритами низкотемпературной ассоциации не зафиксировано.

Подводя итог изучения хлоритов, следует отметить, что в одном образце присутствуют как разные формы проявления хлоритов, так и их разные температурные ассоциации. При этом всегда хлориты низкотемпературных ассоциаций являются более поздними по отношению к высокотемпературным, а все изученные

хлоритовые ассоциации сформировались после основной сульфидной минерализации.

Обсуждение результатов и выводы

Приведенные данные позволяют говорить о том, что:

1. Наибольшее минералогическое разнообразие теллуридов и самородных элементов характерно для руд залежи «Новая», в рудной залежи «Западная» набор минералов рассматриваемых типов резко ограничен.

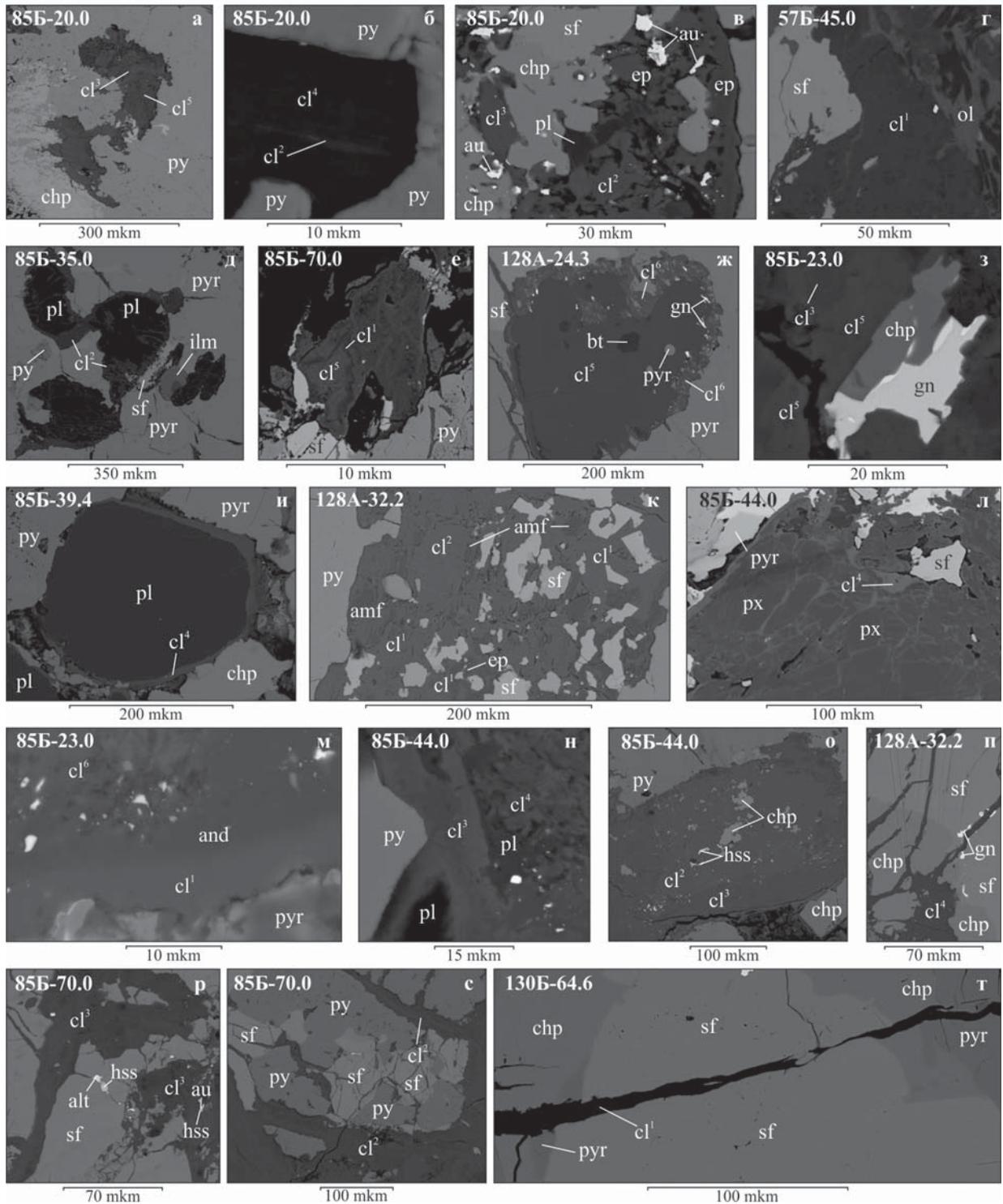


Рис. 6. Формы проявления и взаимоотношения хлоритов разных температурных ассоциаций между собой и с рудообразующими минералами проявления «Западное»: а — cl^5 замещает cl^3 , оба образуют заливообразные внедрения в сульфиды — халькопирит и пирит; б — cl^4 заместил cl^2 , представляют собой псевдоморфозу по силикатному минералу (предположительно амфиболу); в — cl^2 развивается по эпидоту, частично захватывает плагиоклаз, cl^3 образует самостоятельное выделение, оба имеют заливообразные внедрения в сульфиды — халькопирит и сфалерит, с cl^2 и эпидотом связано появление самородного золота; г — cl^1 развивается по оливину, имеет четкий контакт со сфалеритом; д — cl^2 развивается по плагиоклазу, имеет активные взаимоотношения с пирротинном и сфалеритом, проникая в них по микротрещинам; е — cl^5 развивается по cl^1 , представляют собой псевдоморфозу по силикатному минералу; ж — cl^5 замещает биотит (видны реликты) и сам с краев замещается cl^6 ; з — cl^5 развивается по cl^3 , cl^5 имеет четкий контакт с халькопиритом; и — cl^4 замещает плагиоклаз и имеет зазубренный контакт с сульфидами (пиритом, халькопиритом и пирротинном); к — cl^1 замещает амфибол и эпидот, cl^2 развивается по cl^1 ; л — cl^4 развивается по пироксену, контакт с сульфидами четкий; м — cl^1 образует «рубашку» по зерну андрадита, cl^6 заместил внутреннюю часть андрадита, с cl^6 связано появление сыпи мелких зерен гессита; н — cl^3 и cl^4 замещают плагиоклаз; о — cl^2 замещает силикат, cl^3 развивается по cl^2 , с cl^2 связано появление гессита; п — cl^4 образует прожилки, рассекающие сульфиды (сфалерит, халькопирит и галенит); р — cl^3 образует прожилки, рассекающие сфалерит, с cl^3 связано появление самородного золота и гессита; с — cl^2 образует прожилки, рассекающие сульфиды (сфалерит и пирит); т — cl^1 образует прожилки, рассекающие сульфиды (сфалерит, халькопирит и пирротин); ol — оливин, ep — эпидот, ilm — ильменит, прочие сокращения и обозначения см. на рис. 3 и 4

2. Серебряная и золотая минерализация представлена преимущественно теллуридами, значительно реже — сульфидами и самородными элементами. Минералы часто имеют сложные взаимоотношения между собой, при этом признаки замещения одних минералов другими отсутствуют.

Серебро образует 5 самостоятельных минеральных форм (в порядке убывания значимости): гессит (Ag_2Te), штютцит (Ag_5Te_3), волинскит (AgBiTe_2), матильдит (AgBiS_2), цервеллеит (Ag_4TeS). Серебро в повышенных концентрациях (до 15 %) присутствует в других теллуридах: мелоните (NiTe_2) и теллурувисмутите (Bi_2Te_3).

Золото образует 3 самостоятельные минеральные формы — петцит (Au_3AgTe_2), электрум и самородное золото. В качестве постоянной и существенной примеси золота присутствует в цервеллеите (до 3,6 %), изредка — в гессите (до 2,5 %).

Гессит является сквозным минералом, зафиксирован в обоих рудных телах, во всех минералогических типах руд, на всех глубинах.

Угловатая, ксеноморфная форма выделения агрегатов и выдержанность минерального состава теллуридной минерализации может являться результатом кристаллизации относительно низкотемпературного расплава среди термически более устойчивых силикатных и сульфидных фаз [11, 12].

Присутствие благороднометалльной теллуридной минерализации в медно-цинковых рудах фиксируется на многих месторождениях [2, 3, 6, 7 и др.]. Теллуридная форма золота и серебра в рудах, возможно, отражает верхний эпитермальный уровень оруденения по аналогии с месторождениями Биргильдинско-Томинского рудного узла.

3. Благороднометалльная минерализация приурочена главным образом к основным рудообразующим минералам — сфалериту и пирротину, реже — галениту. Приуроченность золотосеребряной минерализации к сульфидам цинка (сфалерит) демонстрирует близость проявления «Западное» к современным колчеданным постройкам Мир и ТАГ Срединно-Атлантического хребта [5].

Наблюдается тесная пространственная, а возможно и парагенетическая связь с вторичными минералами — эпидотом и хлоритом.

На основании изучения хлоритов выделено 6 температурных ассоциаций этих минералов; форма проявления хлоритов четко связана с температурой их образования. Проявление благороднометалльной минерализации обнаруживает связь с четырьмя ассоциациями хлорита (за исключением низко- и высокотемпературных). При этом гессит обнаруживает связь с хлоритами как минимум трех ассоциаций в диапазоне температур 131–281°C. Этот факт объясняет сквозной характер минерала.

В работе [8] указывается, что теллуридная минерализация в рудах колчеданных месторождений является многостадийной и связана как с процессами первичного накопления сульфидов, так и последующими на-

ложенными процессами — регионального метаморфизма на уровне зеленосланцевой и пренит-пумпеллитовой фаций, а также как продукт анатексиса сульфидных руд, подвергнутых контактовому и региональному метаморфизму. Исходя из минералогических особенностей руд проявления «Западное» (присутствие типично скарных, метаморфогенных и низкотемпературных гидротермальных парагенезисов и связанных с ними теллуридов), изученные образцы демонстрируют именно такую многостадийность.

Таким образом, происхождение рудных ассоциаций с редкими минералами Au и Ag проявления «Западное» связано, по всей видимости, с наложенными процессами гидротермального преобразования колчеданных залежей.

4. Особенности геологической позиции проявления «Западное» и минералогии благородных металлов практически соответствуют Тарньерскому медноколчеданному месторождению [6]. Отличительная черта — отсутствие теллуридно-висмутовой минерализации [1] и приуроченность благороднометалльной минерализации ко всем типам руд.

Автор благодарен старшему научному сотруднику лаборатории Региональной геологии и геотектоники Института геологии и геохимии УрО РАН им. акад. А.Н. Заварицкого Степану Васильевичу Берзину за помощь в расчетах температуры образования хлоритов и ценные советы при подготовке материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ханты-Мансийского автономного округа — Югры в рамках научного проекта № 18–45–860008 и Русского Географического Общества (договор № 05–2019-Р).

ЛИТЕРАТУРА

1. Белогуб, Е.В. Самородный висмут, цумоит и свинцовистая разновидность цумоита из Тарньерского медно-цинково-колчеданного месторождения (Северный Урал) / Е.В. Белогуб, В.П. Молошаг, К.А. Новоселов, В.А. Котляров // Записки РМО. — 2010. — № 6. — С. 108–119.
2. Бортников, Н.С. Парагенезисы теллуридов золота и серебра в золоторудном месторождении Флоренсия (Республика Куба) / Н.С. Бортников, Х. Крамер, А.Д. Генкин и др. // Геология рудных месторождений. — 1988. — № 2. — С. 49–61.
3. Дамдинов, Б.Б. Состав и условия формирования оруденения золото-теллуридного типа в Тисса-Сархойской золоторудной провинции (Восточный Саян) / Б.Б. Дамдинов, А.Г. Миронов, А.А. Боровиков и др. // Геология и геофизика. — 2007. — Т. 48. — № 8. — С. 833–847.
4. Зеленов, В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд / В.И. Зеленов. — М.: Недра, 1989. — 302 с.
5. Мозгова, Н.Н. Благородные металлы в сульфидных ассоциациях глубоких частей активной постройки ТАГ (Срединно-Атлантический хребет. 26°08' с.ш.) / Н.Н. Мозгова, Ю.С. Бородаев, Т.В. Степанова и др. // Литология и полезные ископаемые. — 2000. — № 1. — С. 5–24.
6. Молошаг, В.П. Условия образования теллуридов в колчеданных рудах Урала / В.П. Молошаг // Ежегодник-2010. Труды ИГГ УрО РАН. — 2011. — № 158. — С. 140–143.
7. Молошаг, В.П. Фации рудообразования колчеданных месторождений и сульфидных руд медно-золото-порфириновых месторождений Урала / В.П. Молошаг, А.И. Грабежов, И.В. Викингтьев, Т.А. Гуляева // Литосфера. — 2004. — № 2. — С. 30–51.
8. Молошаг, В.П. Условия образования теллуридов в рудах колчеданных и медно-золото-порфириновых месторождений Урала / В.П. Молошаг, А.И. Грабежов, Т.Я. Гуляева // Записки ВМО. — 2002. — Ч. 131. — № 5. — С. 40–54.

9. Сафина, Н.П. Минералого-геохимические особенности сульфидных руд рудопроявления «Западное», Приполярный Урал / Н.П. Сафина, В.В. Масленников, С.П. Масленникова // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа–Югры. — Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2010. — Кн. 2. — С. 492–500.

10. Cathelineau, M. Chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres (Mexico) geothermal system / M. Cathelineau, D.A. Nieva // Contributions to Mineralogy and Petrology, 1985. — Vol. 91. — № 3. — PP. 235–244.

11. Ciobanu, C.L. Gold scavenged by bismuth melts: An example from Alpine shear-remobilizates in the Highiş Massif, Romania / C.L. Ciobanu, N.J. Cook, F. Damian, G. Damian // Mineralogy and Petrology. — 2006. — № 87. — PP. 351–384.

12. Tomkins, A.G. Three mechanisms of ore re-mobilisation during amphibolites facies metamorphism at the Montauban Zn–Pb–Au–Ag deposit / A.G. Tomkins // Mineralium Deposita, 2007. — V. 42. — PP. 627–637.

© Кудрин К.Ю., 2019

Кудрин Константин Юрьевич // kudringeo@inbox.ru

УДК 550.8 681.3

Галюк С.В. (ФГБУ «ИМГРЭ»)

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД

*В статье дан краткий обзор наиболее распространенных геохимических классификаций и их базовые таксономические принципы. Предложена версия классификации элементов для атмо- и литохимических методов при поисках коренного гидротермального полисульфидного оруденения. Сформулированы базовые принципы разделения элементов на группы. В качестве иллюстрации правомочности предложенных принципов приводятся две эмпирически полученные закономерности. **Ключевые слова:** геохимическая классификация элементов, атмо- и литохимические методы поисков, элементы-индикаторы.*

Galyuk S.V. (IMGRE)

GEOCHEMICAL CLASSIFICATION OF CHEMICAL ELEMENTS: HISTORY AND CURRENT VIEWS

*The paper presents a brief overview of the most common geochemical classifications and their basic classification principles. The aspects of the classification of chemical elements as tools of the gas and soil surveys for the bedrock hydrothermal polysulfide mineralization are provided. The basic classification principles of chemical elements are formulated. To illustrate the validity of the proposed principles, two empirically derived patterns are presented. **Keywords:** geochemical classification of chemical elements, gas and soil surveys, pathfinder and indicator elements.*

Классификация в любой науке обобщает и фиксирует актуальный (на дату ее создания) уровень развития данного научного направления. Цель классификации объектов — суммирование знаний на определенном этапе развития науки, объединение изучаемых объектов по определенным критериям в таксоны для

решения задач конкретной направленности. Как правило, в основе любой геохимической классификации химических элементов на сегодняшний день лежит Периодическая система элементов Д.И. Менделеева. В настоящее время в геохимии известны более полутора десятков классификаций химических элементов. Наиболее известными из них являются классификации В.М. Гольдшмидта, А.Е. Ферсмана, В.И. Вернадского, А.Н. Заварицкого, А.А. Саукова, А.И. Перельмана.

Классификации А.Е. Ферсмана, А.Н. Заварицкого и А.А. Саукова основаны на поведении химических элементов в гипогенных условиях; В.М. Гольдшмидта и В.И. Вернадского — отражают поведение элементов как в гипо- так и гипергенных условиях. Классификация А.И. Перельмана соответствует поведению химических элементов в условиях зоны гипергенеза в различных ландшафтах.

В 1911 г. **В.М. Гольдшмидт** опубликовал первую в истории геохимическую классификацию, в которой все элементы в зависимости от их преобладания в одной из природных сред разделены на атмофильные элементы, тяготеющие к атмосфере; сидерофильные, связанные с большими глубинами планеты, родственные с входящим в эту группу железом (металлическое ядро); халькофильные, тяготеющие к меньшим глубинам, чем сидерофильные элементы (сульфидметаллическое ядро) и литофильные элементы, приуроченные к силикатной оболочке Земли. В более поздних изданиях автор ввел группу биофильных элементов.

Классификация В.М. Гольдшмидта сохранила свое значение и широко используется в практике геохимических работ, несмотря на то что его гипотеза о строении Земли представляет лишь исторический интерес в плане развития науки. В.М. Гольдшмидт сравнил дифференциацию элементов в расплавленной планете с выплавкой металлов из руд, когда на дно металлургической печи опускается тяжелый металл с плотностью 7 и более г/см³, а на поверхность всплывает легкий силикатный шлак (аналог земной коры). Между ними располагается слой «штейна» (сульфида Fe) с примесью сульфидов других металлов (аналог мантии) (рис. 1).

Литофильные элементы образуют кислородные соединения, их ионы имеют 8-электронную оболочку. К ним относятся 54 элемента (Si, Fe, Ti, Cl, Br, B, Al, Ca, Mg и др.). Для *халькофильных элементов* характерно взаимодействие с серой, а также селеном и теллуром. Внешняя оболочка катионов имеет 18-электронную конфигурацию (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe, Co и др.). Природные соединения образуют сульфиды и их аналоги. *Сидерофильные элементы* (Ni, Mo, Co, Os, Pd, Ir, Pt, Au, Ta и др.) в расплавах соединяются с железом. Они представлены атомами, которые образуют переходные ионы с внешней оболочкой 9–17-электронной конфигурации. *Атмофильные элементы* характерны для атмосферы, их атомы имеют электронную конфигурацию инертных газов (2–8-электронную). *Биофильные элементы* (C, H, O, N, P, S, Cl, Na, Ca, Mg, Fe и др.) концентрируются в живых организмах с образованием



Рис. 3. Геохимическая классификация элементов по А.Н. Заварицкому: 1 — элементы горных пород; 2 — благородные газы; 3 — группа железа; 4 — группа платины; 5 — тяжелые галоиды; 6 — редкие элементы; 7 — металлические рудные; 8 — металлоиды и металлогены; 9 — элементы магматических эманаций; 10 — группа сильно радиоактивных элементов



Рис. 4. Геохимическая классификация элементов по А.Е. Ферсману: 1–4 — элементы: 1 — кислых магм; 2 — элементы средних магм; 3 — основных и ультраосновных магм; 4 — сульфидных месторождений



Рис. 5. Геохимическая классификация элементов по А.А. Саукову: 1–5 — элементы: 1 —щелочных магм; 2 — кислых магм; 3 — мафитов и ультрамафитов; 4 — гидротермалитов; 5 — пегматитов

ному виду эндогенных процессов (рис. 4). Таблица разделена на поля, соответствующие распространению элементов в земной коре: поле элементов *кислых магм и пневматолитов* (цирконий, ниобий, тантал, уран, вольфрам, редкие земли), *средних магм (кальций, стронций, бром, йод и др.)*, *ультраосновных магм* (железо, кобальт, никель титан, ванадий, элементы платиновой группы и др.), поле элементов *сульфидных руд* (медь, свинец, цинк, олово и др.).

А.А. Сауков (1953) развил и дополнил эту концепцию (рис. 5). Элементы земной коры были разделены на пять групп в зависимости от типа и состава эндогенного процесса. Характерной особенностью данной классификации является то, что многие элементы включены в две и более групп. Фосфор, фтор и таллий входят в состав сразу четырех классификационных ячеек. Некоторые же элементы не принадлежат ни к одной из групп.

Классификация химических элементов, составленная А.И. Перельманом, соответствует их поведению в условиях зоны гипергенеза. В основу классификации положены интенсивность, контрастность, виды миграции элементов в различных геохимических обстановках, а также их свойства и кларки. Химические элементы разделены на две основные группы по форме миграции: на воздушные и водные.

Все представленные классификации непротиворечивы, дополняют друг друга и подчинены основному

закону геохимии В.М. Гольдшмидта: *кларки элементов зависят от строения атомного ядра, а их миграция — от наружных электронов, определяющих химические свойства элементов*. Следствием этого является схожесть в строении орбиталей (электронных оболочек) родственных элементов и соответственно компактное расположение в периодической таблице Д.И. Менделеева.

Авторская классификация химических элементов для прогнозных и поисковых геохимических работ

Классификации элементов для интерпретации геохимических аномалий при поисках месторождений твердых полезных ископаемых к настоящему времени в специальной и периодической литературе не обнаружено. Накопленный сорокалетний опыт в поисковой геохимии, в том числе двадцатилетней кураторской работы, позволил сделать попытку осуществить первый шаг в этом направлении. В данной работе рассматриваются аспекты классификации элементов для атмо- и литохимических методов при поисках коренного гидротермального полисульфидного оруденения.

Прежде всего, о неоднозначно трактуемом понятии «интерпретация». По мнению автора, это не просто констатация перечня элементов, входящих в аномалию и расчет их статистических характеристик, а дифференциация площади по степени перспективности на обнаружение искомого типа оруденения, которая осуществляется путем решения трех задач: определе-

ния промышленного типа оруденения, определение его локализации и оценки масштаба проявленности (другими словами — что, где и в каком количестве).

В технологии интерпретации геохимических данных есть две наиболее сложные процедуры, без качественного выполнения которых невозможно получение достоверного результата. Первое — разделение элементов, входящих в аномалию, на «родственные», связанные единым рудным процессом, и случайные, суперпозиционные попутчики, не имеющие к рудному процессу непосредственного отношения (соседи). И второе — оценка распространения оруденения на глубину (размер рудной подвески), без которого получение итогового результата геохимических поисков просто невозможно. Отсутствие обоснованной оценки вертикального размаха оруденения и, как следствие, использование декларативных глубин (в 100 м или любое другое) однозначно приводит к ошибочному результату и, как следствие — к дискредитации геохимических методов поисков. Величина (продуктивность) гипергенного ореоля поля функционально определяется объемом эродированной массы первичного ореоля и при неизвестном уровне эрозионного среза не имеет отношения к величине оставшейся в недрах ее части. Поэтому принцип подобия — чем выше площадная продуктивность вторичной аномалии, тем больше ресурсы ожидаемого оруденения — выполняется только при условии доказанного одинакового уровня эрозионного среза.

В предложенной классификации элементов особое внимание уделено тем из них, которые позволяют решать эти проблемы. Элементы объединены в 14 групп (рис. 6).

В группу **атмофильных** объединены следующие элементы: водород, азот и инертные газы. В практике поисковых работ используется атмогеохимический метод гелиевой съемки и радоновая (эманационная) съемка. Оба газа имеют глубинное происхождение, поэтому их присутствие может свидетельствовать о наличии путей миграции — по глубинным разломам, зонам тектонической трещиноватости или линейным. Эти методы позволяют трассировать тектонические нарушения и определять их активность, выявлять зоны трещиноватости и повышенной флюидопроницаемости, вдоль которых осуществляется активная миграция поровых гидротермальных потенциально рудоносных растворов.

В группу **галогенов** включены пять элементов: фтор, хлор, йод, бром и астат. Возможность формирования атмохимических ореолов йода и брома неоднократно подчеркивалась Н.Н. Трофимовым, А.И. Рычковым [11], В.З. Фурсовым, А.А. Левинсоном, Л.Н. Овчинниковым [8], С.В. Григоряном и др. Так, В.З. Фурсов указывал, что (учитывая общие принципы рудогенеза) следует ожидать над рудными месторождениями газовые ореолы йода, хлора и брома [12]. А.А. Левинсон и Н.Н. Трофимов неоднократно подчеркивали, что с медно-полиметаллическими и другими типами рудных месторождений ассоциирует йод и бром, поэтому почвенные газы с повышенной их концентрацией над такими и аналогичными объектами могут дать ценную поисковую информацию [11].

Применение атмохимических методов поисков рудных месторождений наиболее целесообразно при масштабе исследований 1:50 000–1:10 000. Эти исследования могут проводиться как самостоятельно, так и в комплексе с другими геологоразведочными работами. Атмохимические поиски в целом являются косвенными, однако тщательный анализ физико-химических условий образования газовых ореолов часто дает достаточные основания для уверенной геологической интерпретации выявленных аномалий и установления связи с месторождениями.

Метод сравнительно дешевле, может быть применен в различных геоморфологических обстановках и в условиях существенного перекрытия рыхлыми палеоген-четвертичными отложениями мощностью от 20–100 м.

Группа **петрогенных элементов**. Отличительной их особенностью является то, что они слагают более 99,48 % элементов литосферы и кларк каждого из них (кроме бора) более 0,1 %. Эта группа объединяет 14 элементов: бор, углерод, кислород, натрий, магний, алюминий, кремний, фосфор, серу, калий, кальций, титан, марганец и железо. Элементы этой группы широко используются при региональных геохимических работах как самостоятельно, так и в составе формационного и фациального анализа для оценки рудоносности вмещающих комплексов и решения вопросов металлогении.

Понятие «петрохимия» введено А.Н. Заварицким (1944). Петрохимические пересчеты используются для расчета численных индексов и коэффициентов по химическому анализу породы. Эти индексы представляют собой функции многих переменных и применяются



Рис. 6. Потенциальные элементы-индикаторы поисков: а — литохимических, б — атмохимических; элементы: 1 — атмофильные, 2 — петрогенные, 3 — р-халькофильные, 4 — d-халькофильные, 5 — сидерофильные легкие, 6 — сидерофильные тяжелые, 7 — р-металлоиды, 8 — d-металлоиды, 9 — галогены, 10 — группа платины, 11 — редкие, 12 — рассеянных щелочей, 13 — щелочноземельные, 14 — редкоземельные

для: оценки минерального состава горных пород; дискриминационных целей (разделение пород на группы и генетические серии); сравнения с данными экспериментов и численного моделирования; реконструкции исходной породы по химическому составу в случае вторичных или метаморфических изменений породы. Для сравнения результатов пересчетов широко применяются петрохимические диаграммы [7]. Система расчета химических анализов магматических горных пород (и нанесение полученных данных на диаграмму векторов), предложенная А.Н. Заварицким, выделяет три химических класса (ряда) указанных горных пород:

I — нормальный (содержание Al_2O_3 больше суммы окислов Na и K, но меньше суммы окислов Ca, Na и K);

II — плюмазитовый (пересыщенный глиноземом, т.е. глинозем преобладает над суммой окислов Ca, Na и K);

III — апаитовый (пересыщенный щелочами, т.е. содержание окислов Na и K преобладает над глиноземом) [9].

В ИМГРЭ ведущими специалистами в этой области были Л.С. Бородин (Петрохимия магматических серий) и Е.Н. Алтухов (Основы редкометалльной металлогении). За рубежом распространены системы пересчетов группы американских ученых У. Кросса, Дж. Иддингса, Л. Пирсона и Г. Вашингтона — метод CIРW, швейцарского геолога П. Ниггли и др.

Сидерофильные элементы

Целесообразность разбиения группы сидерофильных элементов (по А.Н. Заварицкому) на два семейства объясняется существенным различием их роли при интерпретации геохимических данных.

В семейство **тяжелых сидерофильных элементов** входят кобальт и никель. Это важные элементы зональной колонны полисульфидных рудных объектов как в осевой, так и в поперечной зональности. В первом случае они могут входить в комплекс высокотемпературных элементов нижнерудного или подрудного уровня, определяющего уровень эрозионного среза объекта, а во втором случае — служить для определения степени рассеянности — концентрированности оруденения.

В семейство **легких сидерофильных элементов** также входят два элемента — ванадий и хром. Непосредственными элементами-индикаторами они не являются, но при поисках по гипергенным средам позволяют определять возможность (или невозможность) использования тяжелых сидерофилов как элементов-индикаторов. В случае их пространственной корреляции с тяжелыми сидерофильными элементами — это признак наличия выхода на поверхность пород основного состава, что не позволяет использовать тяжелые сидерофильные элементы в качестве элементов-индикаторов, так как они могут быть генетически с ним несвязанными.

Халькофильные элементы

Аналогично группе сидерофильных элементов представляется целесообразным разбиение семейства

халькофильных элементов на две подгруппы по 6 элементов в каждой. Основанием для этого служит различие в их поведении в ореольном поле, а инструментом разбраковки — строение их атомов: d-халькофильные элементы относятся к переходным металлам, которые в кристаллическом состоянии обладают ковалентно-металлической связью; p-халькофильные элементы относятся к умеренно активным металлам. Обобщенные электронные формулы d-халькофильных элементов — (3–5) $d^{10}(4–6) s^{(1–2)}$, p-халькофильных элементов — (4–6) $s^1(4–6) p^{(1–2)}$.

В группу **d-халькофильных элементов** входят: медь, цинк, серебро, кадмий, золото, ртуть. Они являются основными компонентами сульфидных рудных месторождений, как правило, играют роль базовых элементов-индикаторов сульфидного оруденения и входят в состав геохимической зональной колонны рудных объектов [6]. Они являются обязательными диагностируемыми элементами лабораторно-аналитических работ при литохимических поисках и при интерпретации геохимических данных.

Миграционные способности элементов этого семейства весьма схожи в эндогенных условиях, что же касается гипергенных сред, то дифференциация рассеяния их весьма сильна. От наиболее проявленных свойств к россыпе- и потокообразованию у золота и практически полного их отсутствия у меди (рис. 7, 8).

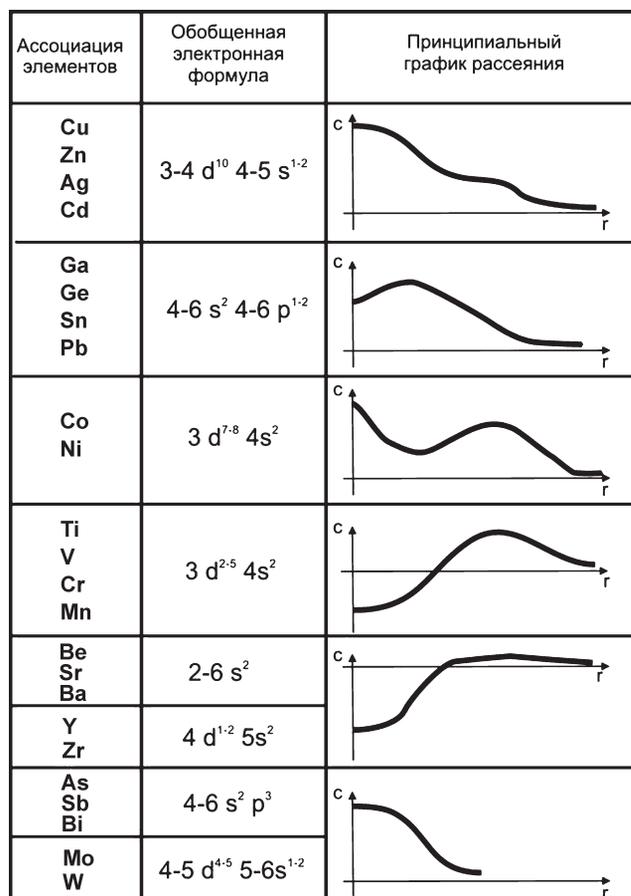


Рис. 7. Закономерности рассеяния химических элементов от центра оруденения до фоновых областей по палеолатерали

Также в эту группу входит ртуть — основной элемент газортутной съемки. Геохимическое сродство ртути с серой определяет ее принадлежность к числу халькофильных элементов и обеспечивает повышенные содержания в сульфидных минералах. Замечательное свойство ртути — высокая летучесть и способность восстанавливаться в гипергенных условиях до самородного состояния определяют работоспособность метода газортутной съемки — в целом косвенного метода поисков рудных месторождений и только для собственно ртутных месторождений — прямого.

В группу **p-халькофильных элементов** входят: галлий, германий, индий, олово, таллий и свинец. При литохимических поисках полисульфидных коренных руд применимы и в качестве объекта поисков, и в качестве элементов-индикаторов два элемента — олово и свинец. Геохимическая природа олова двойственна в зависимости от режима кислорода и серы. Этим определяется его высокая миграционная способность и присутствие как в пегматитах, грейзенах, так и в сульфидных месторождениях, где оно накапливается в оловосеребряных и оловополиметаллических рудах.

Свинец в эндогенных условиях весьма близок к цинку, что обуславливает их совместное накопление в месторождениях. Различные условия кристаллизации сульфидов цинка (более высокотемпературные) и свинца являются одной из причин рудной зональности залежей, в которых сфалерит концентрируется в нижних частях, а галенит ближе к поверхности. В экзогенных условиях пути свинца и цинка расходятся. В зоне выветривания свинец слабо мигрирует и накапливается в форме малорастворимых англезита, церуссита, тогда как цинк, переходящий в хорошо растворимый сульфат, выносится на значительные расстояния и может накапливаться в карбонатной среде в виде смитсонита.

Металлоидные элементы

Группа «металлоидных и металлогенных элементов» (по А.Н. Заварицкому) нами была разделена на два семейства с обобщенными электронными формулами p-металлоидов — $(4-6)s^2(4-6)p^{(3-4)}$ (это полуметаллы со свойствами, присущими как металлам, так и неметаллам, образованием ковалентной кристаллической решетки и наличием металлической проводимости) и d-металлоидов — $(0-4)4f^4(4-5)d^{(4-5)}(5-6)s^{(1-2)}$ (со всеми свойствами переходного металла).

В группу **p-металлоидов** включены шесть элементов: мышьяк, сурьма, висмут, селен, теллур и полоний. При геохимических поисках коренных полисульфидных рудных объектов важную роль играют мышьяк, сурьма, висмут. В том или ином виде они фиксируются на всех стадиях магмо- и рудогенерирующего процесса. По мнению В.И. Смирнова, «есть все основания полагать,

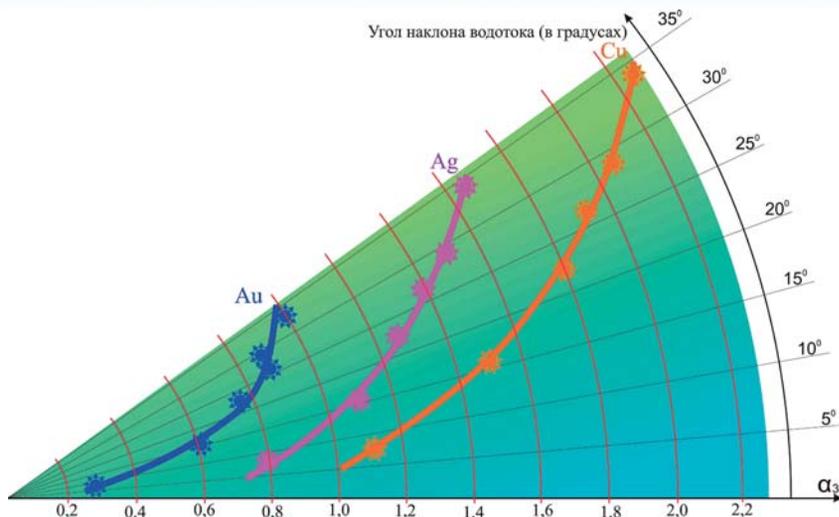


Рис. 8. Графики значений коэффициента соответствия a_3 в зависимости от угла падения потока

что мышьяк, сурьма, висмут геохимически активно участвуют в процессах позднемагматического и раннепостмагматического рудообразования (месторождения магматической, пегматитовой, карбонатитовой, скарновой, альбит-грейзеновой и колчеданной групп) [10]. Особое значение эти элементы играют при поисках золоторудного оруденения, где им отведена важнейшая роль при интерпретации данных, связанных с определением типа оруденения и оценкой уровня эрозионного среза, необходимого при расчете прогнозного ресурсного потенциала геохимической аномалии. В связи с этим возникает необходимость использования специальных лабораторно-аналитических методов диагностики элементов этой группы с близкларковым нижним порогом обнаружения.

В семействе **d-металлоидов** включены четыре элемента: молибден, технеций, вольфрам и рений. Для геохимических поисков особую роль играют молибден и вольфрам.

Минеральные образования вольфрама и молибдена часто встречаются совместно в постмагматических месторождениях. Оба металла в постмагматических растворах проявляют свойства образовывать комплексные соединения, изоморфно замещать друг друга и формировать ассоциации с другими металлами: медью, бериллием, висмутом, ураном, свинцом и цинком. В земной коре максимальные их концентрации создаются в результате гидротермальной деятельности интрузий гранитоидной магмы. Высокотемпературные минералы этих элементов определяют нижнерудную или подрудную ассоциацию элементов большинства типов сульфидных руд. В экзогенных условиях минералы молибдена (и в особенности вольфрама) относительно устойчивы как в почвах, так и в потокообразовании, что позволяет использовать их при поисках по методам потоков и вторичных ореолов рассеяния.

В группу **платины** традиционно включены шесть элементов: рутений, родий, палладий, осмий, иридий, платина. В эндогенных основных и ультраосновных

породах платиноиды присутствуют в виде самородных выделений и сульфидов. Платина и другие металлы этой группы относятся к элементам мало мигрирующим в природных мало минерализованных водах. Коэффициент их водной миграции, по данным А.И. Перельмана, не превышает 0,1. При выветривании основных и ультраосновных пород платиноиды накапливаются в коре выветривания, частично мобилизуются, переходя в истинные и коллоидные растворы как в результате растворения сульфидов, так и вследствие диспергирования зерен самородных элементов.

Формирование контрастных геохимических ореолов платиновых металлов на рудоносных массивах ультрабазитов не характерно. Контрастные ореолы платины формируются на рудоносных породах и месторождениях, где платиноиды непосредственно связаны с сульфидами, при окислении которых образуются соединения, способные переводить платиноиды в растворы. В тех случаях, когда платиноиды находятся в коре выветривания в виде самостоятельных минеральных выделений, они образуют механические ореолы (тем самым повышая контрастность литохимических ореолов), фиксируя контуры рудного тела. Платина положительно коррелируется с хромом, что является следствием их тесного парагенеза в материнских породах. Кроме хрома к главным элементам-индикаторам платиноидов относятся Cu и Ni.

В группу **щелочноземельных элементов** включены бериллий, стронций и барий.

Эти элементы весьма важны для интерпретации геохимических данных. Бериллий потенциально входит в ассоциацию подрудных элементов, а барий — верхнерудных-, надрудных элементов, что необходимо учитывать при количественной оценке величины рудной «подвески» неэродированной части оруденения. Оба элемента могут быть использованы в качестве элементов-индикаторов после подтверждения их принадлежности к зональной колонне гидротермального сульфидного оруденения, а не к зоне карбонатизации или баритизации.

В группу **элементов рассеянных щелочей** включены литий, рубидий и цезий. В качестве элементов-индикаторов полисульфидного оруденения они практически не упоминаются. Встречено упоминание об использовании лития в качестве показателя верхнерудного среза оруденения на золотосеребряном объекте (Г.Я. Абрамсон, 1991) [1].

В группу **редкоземельных элементов** включены скандий, иттрий и лантан (лантаноиды). Примеров их использования в качестве элементов-индикаторов полисульфидного оруденения не установлено.

В группу **редких элементов** включены четыре элемента — цирконий, ниобий, гафний и тантал. Примеров использования их в качестве элементов-индикаторов полисульфидного оруденения не обнаружено.

В качестве иллюстрации правомочности предложенных принципов приводятся две эмпирически полученные закономерности.

Графики распределения концентраций элементов-индикаторов колчеданно-полиметаллического оруденения от центра оруденения до фоновых областей по палеолатерали. Наглядно показано, что структура первичных ореолов эндогенных месторождений определяется электронным строением входящих в них элементов (рис. 7) [3].

В зоне гипергенеза при формировании литохимических потоков рассеяния степень россыпе- и потокообразования также во многом зависит от строения электронных оболочек элементов (рис. 8) [4]. Золото ($5d^{10}6s^1$) имеет максимальную степень потокообразования, серебро ($4d^{10}6s^1$) — промежуточную и медь ($3d^{10}6s^1$) — минимальную. Соответственно один из трех коэффициентов соответствия — α_3 , показывающий соотношение продуктивностей потоков и вторичных ореолов рассеяния (т.е. долю обогащения проб в потоках рассеяния), определяется углом падения потока: он минимальный у золота (< 1), средний у серебра (≈ 1) и максимальный у меди (> 1).

Автор статьи уверен, что развернутая периодическая таблица элементов Д.И. Менделеева максимально удобна для классификационного обобщения накопленного опыта для многих научных направлений, связанных с атомарным строением вещества. В частности, для геохимических поисков других промышленных типов оруденения или для био- и гидрогеохимических методов, которые не входили в сферу обобщения данной статьи, а также для дополнения и коррекции представленных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамсон, Г.Я. Методические рекомендации по использованию геохимических методов при поисках и оценке золоторудных месторождений / Г.Я. Абрамсон, А.Г. Жабин. — М.: ИМГРЭ, 1991. — 104 с.
2. Вернадский, В.И. Труды по геохимии / В.И. Вернадский. — М.: Наука, 1994.
3. Галюк, С.В. Методические рекомендации по созданию параметрических прогнозно-поисковых геолого-геохимических моделей колчеданных месторождений / С.В. Галюк. — М.: ИМГРЭ, 1995. — 48 с.
4. Галюк, С.В. Рекомендации по оценке прогнозного ресурсного потенциала геохимических аномалий / С.В. Галюк, О.В. Менчинская // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 11. — С. 15–17.
5. Гольдшмидт, В.М. Принципы распределения химических элементов в минералах и горных породах. Пер. с нем. / В.М. Гольдшмидт // Успехи химии. — 1938. — Вып. VII. — С. 288–320.
6. Григорян, С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений / С.В. Григорян. — М.: Недра, 1987.
7. Заварицкий, А.Н. Введение в петрохимию изверженных пород / А.Н. Заварицкий. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1944. — 329 с.
8. Овчинников, Л.Н. Образование рудных месторождений / Л.Н. Овчинников. — М.: Недра, 1987.
9. Петрохимия. Аспекты петрологии и металлогении: Сб. науч. тр. / Редкол.: Г.В. Поляков (гл. ред.) и др. — Новосибирск: ИГИГ, 1982. — 153 с.
10. Рудные месторождения СССР в 3-х томах / Под ред. акад. В.И. Смирнова. — М.: Недра, 1978.
11. Трофимов, Н.Н. Роль высокоподвижных компонентов при литохимических глубинных поисках / Н.Н. Трофимов, А.И. Рычков. — М.: Недра, 1988. — 159 с.
12. Фурсов, В.З. Газорудный метод поисков месторождений полезных ископаемых / В.З. Фурсов. — М.: Наука, 1983.

© Галюк С.В. 2019

Галюк Сергей Владимирович // galiouk@imgre.ru

Ганжа О.Ю.¹, Кухмазов С.У.², Ракитов В.А.³, Чернышев Ю.Г.³ (1 — Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2 — АО «Институт Оргэнергострой», 3 — филиал ОАО «ВНИИГеофизика» — Центр ГЕОН)

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗАПИСЕЙ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОПОРНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОФИЛЯХ ГСЗ И МОВЗ

Представлены основные этапы цифровой обработки данных глубинных сейсмических исследований на опорных и региональных профилях Центра ГЕОН. Рассмотрены особенности препроцессинга сейсмических записей, выделения регулярных волн, математического моделирования земной коры и телесеismicкой томографии. Отмечена лидирующая роль Центра ГЕОН в проведении полевых работ, цифровой обработке и интерпретации данных многоволнового ГСЗ и МОВЗ. Ключевые слова: обработка данных ГСЗ и МОВЗ, сейсмические скорости P и S-волн, моделирование земной коры, телесеismicкая томография.

Ganzha O.Yu.¹, Kukhmazov S.U.², Rakitov V.A.³, Chernyshev Yu.G.³ (1 — Shirshov Oceanology Institute RAS, 2 — Orgenergostroy Institute, 3 — GEON Centre-Branch of VNIIGeofizika)

DIGITAL PROCESSING SPECIFICITY OF THE BIG EXPLOSIONS AND EARTHQUAKES SEISMIC RECORDS ON REGIONAL TRANSECTS USING DSS AND MCWE METHODS

The main stages of digital data processing of deep seismic surveys on reference and regional profiles of the GEON Center are presented. The specificity of preprocessing of seismic records, allocation of regular waves, mathematical modeling of the earth's crust and teleseismic tomography are considered. The leading role of the GEON Center in the field work, digital processing and interpretation of multi-wave DSS and MCWE data is noted. Keywords: DSS-MCWE data processing, seismic velocity P and S-waves, earth crust modeling method, teleseismic tomography.

В период с 1971 по 1995 г. Специальная региональная геофизическая экспедиция (с 1991 г. и далее — Центр ГЕОН) в рамках Государственной программы Министерства геологии СССР по созданию опорной сети геотраверсов выполнила свыше 60 тыс. пог. км многоволновых сейсмических исследований методами ГСЗ и МОВЗ вдоль длинных опорных профилей, направленных как на решение фундаментальных задач строения земной коры и верхней мантии, так и на минерагеническое прогнозирование (рис. 1). Основные результаты региональных исследований опубликованы в работах [1, 8].

После катастрофического Спитакского землетрясения 1988 г. Центром ГЕОН совместно с другими организациями (ООО «Северо-Запад», ООО «Центр ЭМИ», Институт КНИИГиМС) было начато изучение особенностей строения земной коры сейсмоактивных районов России методами обменных волн землетрясений (МОВЗ) и магнитотеллурического зондирования (МТЗ) вдоль региональных профилей с целью разработки методики прогноза землетрясений. Работы проводились в рамках Постановления Правительства Российской Федерации от 11.05.1993 г. № 444 «О Федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений» и в соответствии с Методическими рекомендациями «Изучение глубинного строения сейсмоопасных зон методами разведочной геофизики» (ВНИИГеофизика, 1988). С 1999 по 2005 г. Центр ГЕОН являлся головной организацией Министерства природных ресурсов России (МПР России) по этому направлению.

Глубинные сейсмические исследования выполнялись по разработанной в Центре ГЕОН принципиально новой методике многоволнового глубинного сейсмического профилирования, основные особенности которой заключались в следующем [1]:

1. Использование при работах ГСЗ помимо базовых источников упругих колебаний химических взрывов мощностью до 4–5 т в тротиловом эквиваленте, размещенных вдоль профиля с интервалом 40–100 км, также и мирных ядерных взрывов (до 1989 г.) с расстоянием между ними 600–900 км. Шаг между пунктами дискретных наблюдений составлял 6–10 км (с 1991 г. — около 3 км). Это позволило создать две системы встречных и нагоняющих годографов — одну с длиной до 250–300 км, другую — до 1500–3500 км, что обеспечило изучение строения земной коры и верхней мантии до глубины 800 км. Начиная с 1974 г. с применением аппаратуры непрерывного действия стали регистрироваться телесеismicкие события с обработкой их записей по технологии МОВЗ и телесеismicкой томографии.

2. В обязательном порядке регистрировались три компоненты смещения почвы (Z-вертикальная и X, Y-горизонтальные, в т.ч. радиальная и тангенциальная) и выполнялась совместная обработка и интерпретация широкого класса волн: продольных (слаборефрагированных и отраженных), поперечных (слаборефрагированных и отраженных), обменных (PS и SP) сейсмических волн. Поскольку соотношение интенсивностей монотипных волн, имеющих одинаковые пути пробега, при ядерных взрывах в полтора-два раза выше, чем у химических, то это повышает надежность их выделения и корреляции, особенно поперечных волн.

3. С самого начала наблюдений аналоговые записи взрывов и землетрясений преобразовывались в циф-

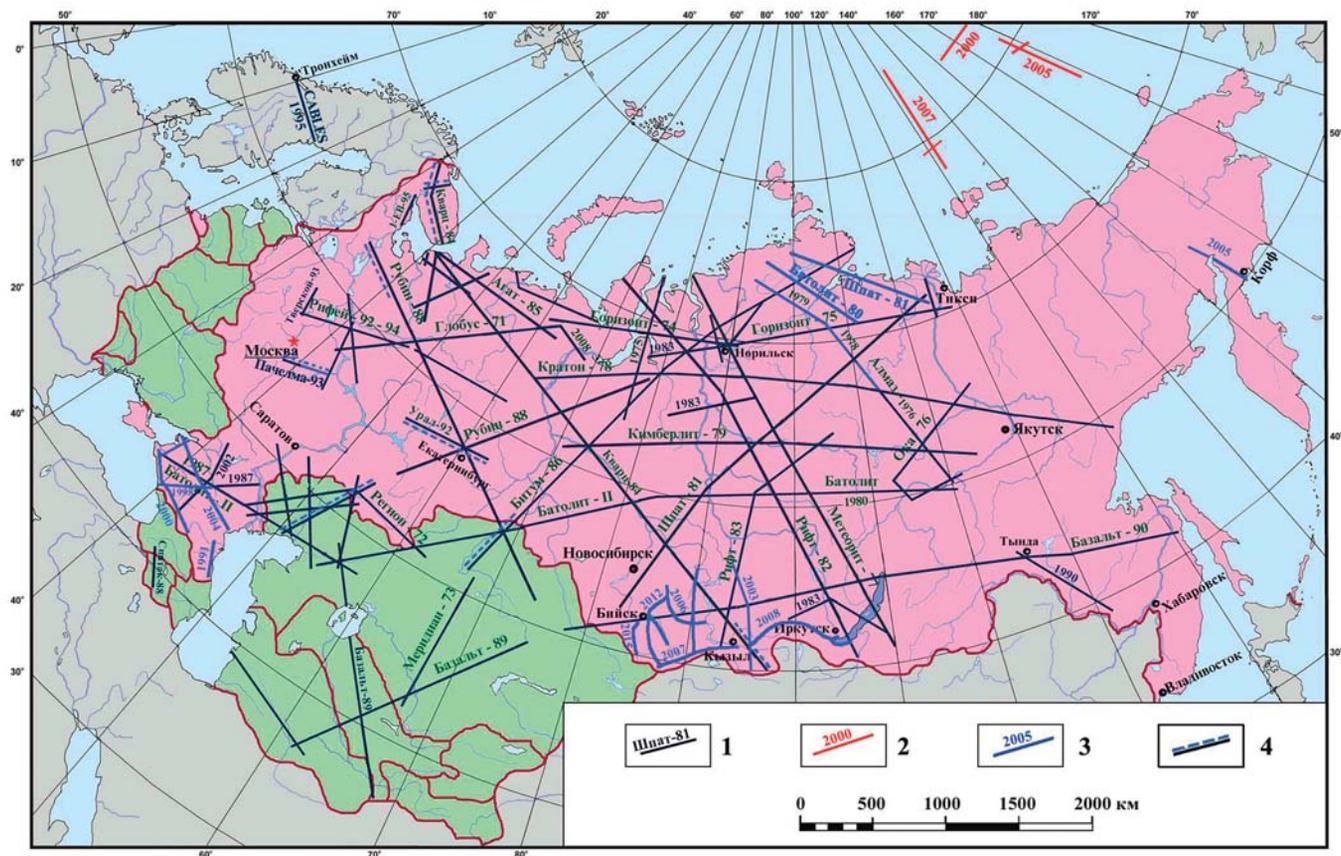


Рис. 1. Размещение на территории России и сопредельных государств опорных и региональных профилей, выполненных Центром ГЕОН в 1971–2015 гг. (цифрами указан год выполнения) [8]: 1–3 — опорные и региональные профили, выполненные методами: 1 — ГСЗ и ГСЗ-МОВЗ (до 1995 г.), 2 — ГСЗ (арктические наледные), 3 — МОВЗ и МОВЗ-МТЗ; 4 — участки телесеismicической томографии

ровой код и формировались в том или ином сейсмическом формате. Это обеспечило широкое внедрение разнообразных процедур машинной обработки сейсмических данных как для выделения регулярных волн с использованием различного вида фильтров и вычисления скоростных параметров среды по совокупности годографов, так и для составления сейсмических разрезов и их уточнения путем решения прямой задачи сейсмологии.

Использование данных многоволновой сейсмологии обеспечивает получение информации о различных параметрах среды, таких как вещественный состав кристаллических пород, поглощение сейсмической энергии, добротность, анизотропия скоростей поперечных волн [1].

Для выполнения полевых наблюдений первоначально использовались до 400 и более автономных сейсмических станций с магнитной записью «Тайга» и «Черепаша» различных модификаций, укомплектованные сейсмоприемниками типа НСП-3 и СК-1П с собственной частотой 1–1,5 Гц. Частотные характеристики сейсмических каналов обеспечивали регистрацию упругих колебаний в диапазоне от 0,5 до 20 Гц.

Начиная с 1993 г. аналоговая аппаратура поэтапно была заменена на отечественные цифровые регистраторы базовой серии «Дельта» совместной разработки Центра ГЕОН с НИИ Приборостроения им. В.В. Ти-

хомирова [8]. К их преимуществам относятся: уменьшение уровня шума и искажения сигнала за счет современной элементной базы и увеличения динамического диапазона, повышение точности измерения параметров волнового поля и временной привязки к астрономическому времени, точное позиционирование на профиле с помощью GPS, сниженные весовые и энергопотребляемые характеристики.

Разработанные к началу нового тысячелетия цифровые аппаратно-методические технологии и накопленный опыт послужили основанием для привлечения специалистов Центра ГЕОН к государственной важности работам, проводимых по заказу МПР России на арктических геотраверсах в Северном Ледовитом океане с целью обоснования внешней границы континентального шельфа России. Работы выполнялись в рамках комплексных геолого-геофизических мероприятий силами ГП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» (ПМГРЭ) и ФГУП «ВНИИ-Океангеология» под научным руководством В.А. Поселова, Г.П. Аветисова и В.Д. Каминского [10]. Полевой отряд Центра ГЕОН под руководством А.В. Маухина принимал участие в совместных со специалистами указанных организаций глубинных исследованиях методом ГСЗ в пределах поднятия Менделеева и хр. Ломоносова в составе экспедиций Арктика-2000, 2005 и 2007 (рис. 2).

отражениям, оценка эффективного поглощения сейсмической энергии.

Начиная с 1981 г. построение скоростных разрезов вдоль профилей стало осуществляться при помощи решения прямой двухмерной кинематической задачи сейсмоки методом лучевого моделирования (методом подбора). В процессе моделирования выполнялись расчеты годографов для различных вариантов моделей с уточнением природы регистрируемых волн. Соответствующая программа была создана в Центре ГЕОН применительно к специфическим особенностям многоволнового ГСЗ и позволяла рассчитывать теоретические годографы отраженных, отраженно-обменных, рефрагированных, обменно-рефрагированных и дифрагированных волн с учетом преломления на границах раздела для сложнопостроенных блоковых двумерных сред с градиентом скорости. На основе этой процедуры в дальнейшем была создана программа решения обратной кинематической задачи сейсмоки [5].

Препроцессинг. Под термином препроцессинг понимается совокупность процедур первичной обработки материала, полученного полевыми станциями и преобразование его к цифровому формату, пригодному для ввода сейсмических данных в обрабатывающие системы. Препроцессинг включал в себя следующие этапы:

1. Оцифровку полевых магнитных лент с шестиканальными сейсмическими записями, поскольку три компонента сейсмических датчиков записывались на двух уровнях усиления для увеличения динамического диапазона.

2. Привязку записей к отметке момента взрыва. Вначале эта процедура производилась по фотовыводам, а в дальнейшем — по оцифрованному и визуализированному каналу времени.

3. Выборку компоненты без перегрузки записи.

4. Преобразование оцифрованной и привязанной записи в соответствующий сейсмический формат.

В начале 1980-х годов в практике сейсморазведки для обработки данных МОВ-ОГТ в СССР применялось 2 стандарта: отечественный СЦС-3 и международный SEG-Y. Оба эти формата работали с многоканальными однокомпонентными данными. Данные ГСЗ, получаемые в СРГЭ, требовали хранения многоканальных и многокомпонентных данных. В этой связи было разработано несколько программ перевода данных между этими форматами и предложен собственный формат хранения данных ГСЗ [11].

Еще одной проблемой, не позволяющей напрямую использовать стандарты МОВ-ОГТ, являлась длительность записи по времени, которая в стандарте ограничивалась несколькими секундами, тогда как в ГСЗ требовалось хранить записи длительностью несколько десятков секунд. К 2000 г. геофизическое сообщество пришло к пониманию необходимости хранения многоканальных многокомпонентных данных, в связи с чем был введен стандарт SEG-Y rev.0, ныне претерпевший две ревизии.

К сожалению, вначале работ по оцифровке данных, в связи с возможностями вычислительной техники того времени было принято решение, что глубинность исследований будет ограничена выявлением границы Мохоровичича и интервал оцифровки составлял только 12 сек., тогда как аналоговая запись длилась до 40 сек. Впоследствии с развитием компьютерных технологий некоторые старые записи удалось переоцифровать и повторно переобработать с включением в интерпретацию рефрагированных и отраженных волн, связанных с границами в верхней мантии.

Цифровая обработка сейсмических данных производилась силами опытно-методической партии № 26, организованной А.П. Чернаковым, который сумел обеспечить связь с ведущими учеными ИФЗ по руководству программистами, организовал вычислительный центр и группу препроцессинга. С появлением цифровых полевых регистраторов препроцессинг упростился, в его состав входят следующие процедуры:

1. Перезапись файлов записи из флеш-карт регистраторов в сформированные директории на компьютере. Затем в заданном интерпретатором временном окне выполняется процедура выборки файлов событий и создаются их монтажи.

2. С помощью визуализаторов (Viewsev.exe и др.) в интерактивном режиме выполняется оценка качества записи того или иного события, осуществляется их сортировка по принадлежности к классу взрывов, локальных, региональных или удаленных землетрясений и создаются соответствующие каталоги. Данные каталогов идентифицируются с событиями, вошедшими в глобальные или региональные сейсмологические бюллетени, получаемые по сети Интернет.

Обработка данных ГСЗ. Как уже упоминалось в Центре ГЕОН осуществлялась многоволновая обработка данных ГСЗ: записи на вертикальной компоненте обрабатывались с целью выделения продольных волн, на горизонтальных компонентах — поперечных и обменных волн.

Выделение и корреляция целевых волн осуществлялась как визуально по сводным сейсмограммам от каждого источника колебаний, так и по монтажам суммотрасс на выходе адаптивного скоростного фильтра [7]. В его основе лежит линейное суммирование записей вдоль совокупностей годографов определенного типа: прямолинейным, где параметром служит кажущаяся скорость и гиперболическим, где параметром является эффективная скорость. Далее строится решающая функция, которой модулируется суммотрасса на выходе линейной системы с учетом отношения оценки энергии сигнала и помехи. Для повышения эффективности этой процедуры дополнительно применяется частотная фильтрация. На заключительном этапе осуществляется сложение суммотрасс на выходе нелинейной системы для заданного диапазона скоростей, что способствует увеличению амплитуд целевых волн на фоне помех и уменьшению вероятности выделения ложных осей синфазности.

Анализировались лишь те оси синфазности, которые прослеживались на шести и более трассах с амплитудой в два-три раза превышающей фон помех. Надежность корреляции и определения природы волн существенно возрастает за счет совместного анализа всех трех компонент волнового поля, что обеспечивает отбраковку «ложных» волн за счет учета бокового влияния.

Методика обработки преломленных волн основывалась на их корреляционном прослеживании с построением встречных и нагоняющих систем годографов, позволяющих непрерывно прослеживать целевые волны, связанные с границами в осадках, поверхности фундамента и Мохо.

Программный комплекс «Чароит», реализующий эту технологию в интерактивном режиме, включает следующие этапы обработки [3]:

- создание системы редуцированных годографов, отождествление волн по кажущимся скоростям, анализ графиков параллельности;

- составление сводных и разностных годографов, расчет граничных скоростей, преобразование ветвей редуцированных годографов в линии нулевых времен t_0 ;

- построение преломляющих границ методом полей времен.

Для построения преломляющих границ в осадочном чехле и поверхности фундамента использовались скоростные параметры среды по данным МОГТ, КМПВ, ВСП и бурения. Система обеспечивает возможность оперативного построения нескольких вариантов глубинной модели по разным скоростным колонкам.

Отражающие границы строились с использованием годографов отраженных волн, выделение и корреляция которых, как уже упоминалось, осуществлялась по монтажам суммотрасс на выходе адаптивного скоростного фильтра. Для построения сейсмических границ использовались эффективные, граничные скорости и времена прихода, определенные по годографам отраженных и преломленных волн. Пластовые скорости и мощности слоев рассчитывались по парным отражениям от кровли и подошвы слоя по методике А.В. Егоркина. Скоростная модель по данным поперечных волн формировалась с учетом геометрии границ по данным продольных волн.

Дополнительную информацию несут обменные волны, содержащиеся в записях удаленных ядерных взрывов, которые подчеркивают особенности внутрикорковых слоев за счет субвертикального подхода лучей снизу. Для их выделения на начальном этапе использовались алгоритмы оптимального разделения интерферирующих волн Ф.М. Гольцмана и В.Н. Трояна и формирующей (обратной) фильтрации с введением для повышения помехоустойчивости параметра оптимальной регуляризации [6]. В качестве исходного сигнала выбиралась запись в виде непротяженного интенсивного цуга продольной волны с формированием желаемого сигнала на вертикальной компоненте в виде импульса колокольной формы с полосой пропу-

скания амплитудного спектра 0–2 Гц. Выбор участка обработки основывался на сравнении спектров записи продольной волны и записи на радиальной (горизонтальной в направлении источник-приемник) компоненте, содержащей вторичные обменные фазы. Корреляция обменных волн осуществлялась по совокупности монтажей не менее 3–5 стандартизированных волновых форм с каждого пункта наблюдения. Глубина границ обмена рассчитывалась по временам запаздывания обменных волн, скорости V_p и отношения V_p/V_s .

Скоростные разрезы земной коры представлялись в виде набора блоков (доменов) с рассчитанными скоростями продольных и поперечных волн, которые отделяются друг от друга субгоризонтальными, субвертикальными и наклонными границами. На разрезах отображались положение и рельеф не только опорных разделов: фундамента и Мохоровичича, но и границ в осадочном комплексе, в консолидированной части коры и в верхней мантии. Для определения степени силичности геологических образований использовалась эмпирическая формула А.Л. Алейникова, связывающая скорости V_p и V_s и их отношение V_p/V_s с содержанием SiO_2 (в весовых процентах).

Основной критерий достоверности глубинных построений — это лучевое моделирование или метод подбора, который заключается в подборе моделей земной коры, для которых рассчитанные теоретические годографы с заданной точностью совпадают с экспериментальными. Как уже упоминалось, с 1981 по 1992 г. для этой процедуры применялась собственная программа, которая не имела экранного интерфейса. Появление персональных компьютеров продиктовало необходимость ускорить процесс подбора. В этой связи в практику работы была внедрена программа ZELT [15] в компиляции Университета Карлсруэ (Германия). Аппроксимация среды осуществлялась блоками в виде трапеций и произвольным углом наклона верхней и нижней границ, где скорость изменяется линейно от кровли к подошве. Подбор ведется как по глубинам до основных границ, так и по скоростям в каждом блоке последовательно сверху вниз для всех выделенных волн. Трассирование лучей осуществлялось путем численного решения дифференциальных уравнений, описывающих ход лучей в соответствии с законами геометрической сейсмологии, время пробега волны вдоль луча определяется путем численного интегрирования по его траектории.

Основным недостатком этой программы, работающей под операционной системой DOS, было отсутствие современного графического интерфейса для одновременной работы с разрезами, годографами и монтажами на экране. Поэтому, начиная с 2000 г. использовалась интерактивная оболочка Seiswide, разработанная Дэпином Чаном для работы в среде Windows XP и являющаяся оконным интерфейсом к программам решения прямой и обратной кинематических задач сейсмологии. Программа позволяет осуществлять построение лучевых диаграмм и полного набора

теоретических годографов для любой заданной модели среды.

Наряду с кинематической обработкой осуществлялись определения коэффициентов поглощения сейсмической энергии и добротности в земной коре по записям преломленно-рефрагированных и отраженных волн [1]. Расчеты осуществлялись по изменениям амплитудных спектров сейсмических волн с расстоянием. При этом подходе исключается влияние расхождения фронта волны и различного увеличения аппаратуры. Каждое определение выполнялось по записям только одного взрыва на эпицентральных расстояниях, в пределах которых нет смены типа волн с последующим усреднением для исключения случайных отклонений.

Обработка записей удаленных землетрясений. Метод МОВЗ, разработанный во ВНИИГеофизике под руководством И.В. Померанцевой и А.Н. Мозженко, позволяет детально исследовать расслоенность земной коры, выявлять в ее структуре неоднородности и разломные нарушения по трехкомпонентным записям удаленных землетрясений. Обработка данных МОВЗ основана на выделении обменных фаз типа P-to-SV, образовавшихся в коде P-волны при расщеплении продольной волны на поперечную на границах раздела внутри земной коры. Для лучшего разделения обменных фаз необходим интенсивный первичный импульс P-волны, который быстро затухает. Диапазон событий эпицентральных расстояний, отобранных по этому критерию событий, не должен выходить за пределы 30–90 градусов.

Обработка полевой информации выполняется в пакете обрабатывающих программ DeltaApps [9], позволяющей получать временные и глубинные разрезы в волновом изображении, как в МОГТ. Алгоритм ориентирован на автоматизированный режим, позволяющий оперативно создавать различные варианты разрезов. В него входят следующие процедуры [12, 14]:

1. Низкочастотная фильтрация с помощью фильтра Баттерворта, выполняемая в полосе пропускания 0.6–2.6 Гц для улучшения соотношения сигнал/помеха.

2. Определение начала обработки с использованием процедуры STA/LTA (отношение сигнала в коротком и длинном окнах).

3. Преобразование посредством поворота исходных ортогональных компонент сейсмоприемника, ориентированных по вертикали и сторонам света (Z, N, E) в лучевую систему координат (P, R, T), оси которой ориентированы таким образом, что главные смещения в продольной волне максимальны на P-компоненте, а разнополяризованные SV и SH – волны подчеркиваются на R и T – компонентах в вертикальной плоскости источник-приемник и перпендикулярной ей плоскости соответственно.

4. Обратная фильтрация (деконволюция). В качестве сигнала, по которому формируется обратный фильтр, берутся смещения P-компоненты на дневной поверхности в предположении, что запись на ней подобна форме продольной волны, падающей под стан-

цией на подошву слоистой структуры из однородной мантии. На R-компоненте после деконволюции создаются волновые формы в виде суперпозиции стандартных одноимпульсных сигналов, связанных с сейсмическими границами. Эта процедура исключает аппаратные различия и особенности записей от разных событий и приводит их к единой временной функции источника. С целью придания одинакового веса преобразованным трассам они нормируются на максимальное значение P-компоненты.

5. Суммирование волновых форм, полученных на пункте наблюдения от не менее десяти разных событий с введением временных сдвигов за разные эпицентральные расстояния относительно некоторого среднего (референтного). Применение этой процедуры ослабляет кратные волны и улучшает выделение слабых обменных волн на фоне помех. Суммарные волновые формы SV-поляризованных обменных волн, которые представляют импульсную реакцию среды (приемника) под станциями профиля, принято называть функциями приемника продольных волн (Receiver function). Начало отсчета в сформированном монтаже приемных функций, т.е. на временном разрезе, соответствует времени прихода продольной волны.

6. Трансформация временного разреза в глубинный по принятому скоростному закону методом послыного наращивания глубины с использованием разницы времен запаздывания волн PS относительно P-волны, сменяющей поляризацию на кровле и подошве слоя. Освещается строение земной коры в основном в интервале глубин 0–60 км, что соответствует разности времен P и PS-волн примерно равной 6–7 сек.

Выбор скоростных параметров среды и привязка границ обмена к опорным горизонтантам производится на базе скоростных колонок, составленных по данным ранее выполненных сейсмических исследований методами МОГТ, КМПВ и ГСЗ. Следует отметить, что скоростные данные МОГТ правомерны лишь для верхней части коры и не содержат сведений о скоростях поперечных волн.

В сейсмоактивных и горнодобывающих районах для составления усредненных скоростных колонок используются сейсмограммы записей местных землетрясений и взрывов из карьеров. С этой целью по составленным монтажам выполняется корреляция первых вступлений P и S-волн и построение годографов для каждого события. Данные по временам пробега волн от разных землетрясений, лучи которых проникают на разную глубину усредняются, что позволяет уменьшить ошибки, связанные с определением времени в очаге и положением гипоцентра. Для совмещения с имеющимися данными ГСЗ и построения сводного годографа полученные данные приводятся к условиям поверхностного источника. Отношение скоростей продольных и поперечных волн рассчитывается по графикам Вадати.

Составление 1-D скоростных разрезов как функции глубины осуществляется путем обращения времен пробега P и S-волн с использованием программы ре-

шения одномерной обратной задачи Inv1, разработанной в ИФЗ РАН [2].

Решение задачи разбивается на следующие этапы:

- разбиение годографов преломленных волн от поверхностного или глубинного источников на ветви, соответствующие преломляющим границам;
- сглаживание годографов выпуклыми кубическими сплайнами;
- построение скоростной кривой по сглаженному годографу;
- решение прямой кинематической задачи по найденной скоростной кривой.

Полученные значения скоростных параметров используются для составленной стартовой блоково-скоростной модели земной коры, которая уточняется решением прямой задачи сейсмоки методом лучевого моделирования. Для этой цели наилучшим образом подходит упомянутая выше программа ZELT с интерактивной оболочкой Seiswide, поддерживающей все опции Windows XP в отношении модулей связи с ОС DOS, для которой написано большинство программ обработки данных МОВЗ. Программа позволяет осуществлять построение лучевых диаграмм и полного набора теоретических времен запаздывания обменных волн (разности прихода волн P и PS) для любой заданной модели среды (рис. 3).

В связи с использованием источников колебаний, находящихся вне модели, должны выполняться два условия: параллельность лучей, подходящих снизу к подошве слоистой структуры и соответствие кажущейся скорости P-волны ее значению по стандартному годографу для скоростной модели Земли IASP91. Процесс моделирования заключается в послойном сверху вниз подборе таких параметров разреза, которые позволяют методом итераций в процессе лучевого трас-

сирования наилучшим образом (не более 0,1 с) совместить экспериментальные и расчетные величины времен запаздывания обменных волн, связанных с конкретной границей раздела.

Томографические исследования начались с проведения в 1992 г. совместного российско-французского эксперимента по изучению скоростной структуры коры и верхней мантии Среднего Урала, и прилегающих территорий вдоль 600-километрового профиля ГСЗ-МОВЗ «Уральский» [13]. В дальнейшем они были продолжены и в других регионах вдоль участков опорных профилей ГСЗ-МОВЗ, пересекающих преимущественно зоны сочленения крупных геотектонических структур (рис. 1). Использовалась технология телесеismicкой томографии, основанная на обращении временных задержек (невязок) времен пробега продольных волн удаленных землетрясений относительно стандартного годографа с представлением глубинного разреза в виде изолиний скоростных аномалий в процентах от нормальных значений согласно скоростной модели Земли IASP91.

Новизна проведенных исследований состоит в следующем:

- высокая плотность системы наблюдений с шагом 10 км позволяет выполнить уверенную корреляцию первых вступлений продольных волн по их выразительным фазам и считать их времена с точностью до сотых долей секунды;
- обеспечивается введение в невязки помимо стандартных поправок за эллиптичность Земли и вариаций высоты местности также и учета мощности слоя осадков по данным ГСЗ, отличающегося от подстилающих пород консолидированной коры пониженной скоростью распространения волн.

Поскольку источники возбуждения колебаний располагаются вне профиля, то в соответствии с методикой

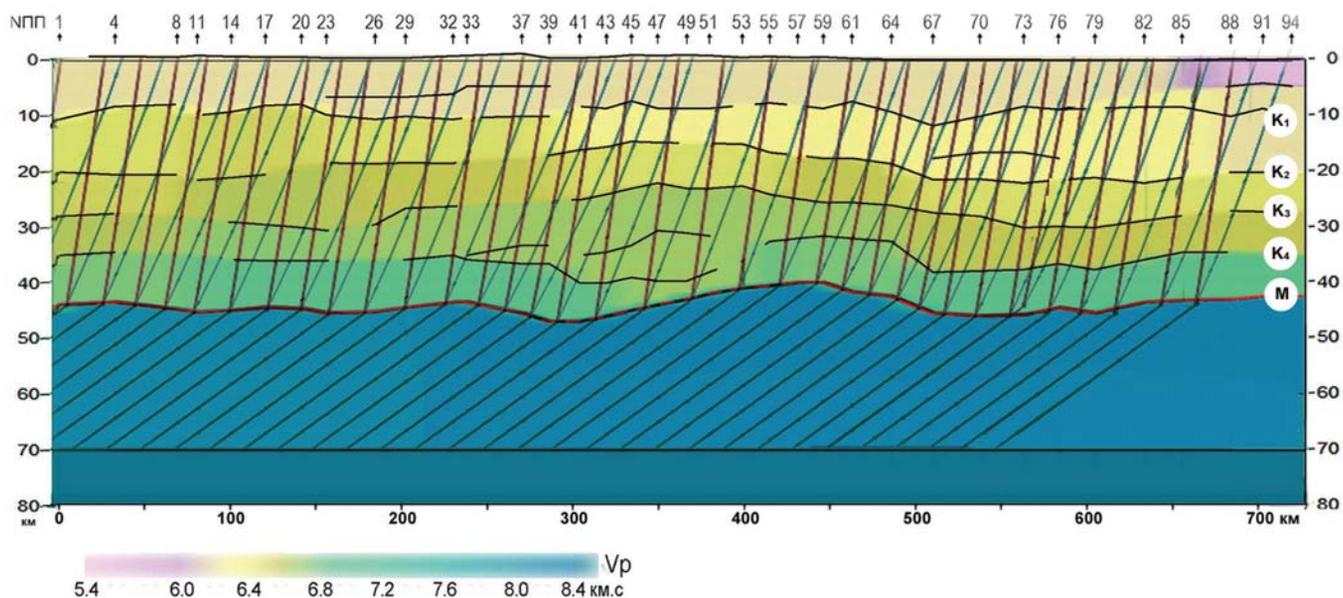


Рис. 3. Лучевое моделирование разреза земной коры по продольным и проходящим обменным волнам удаленных землетрясений: K_1 - K_4 — сейсмические границы в коре, M — поверхность Мохо. Цветовая шкала пропорциональна скорости продольных волн. По горизонтали: внизу — шкала расстояний (км), вверху — номера пунктов наблюдения

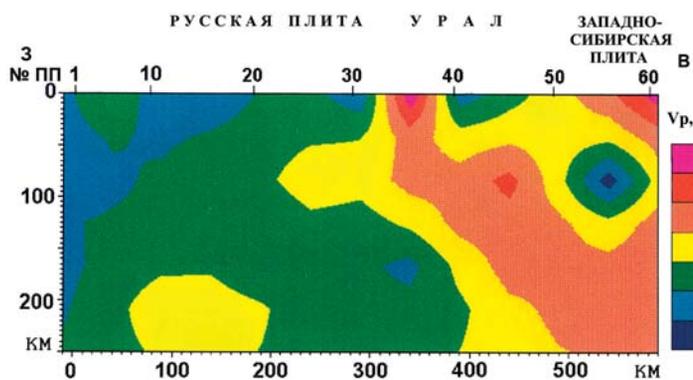


Рис. 4. Томографический разрез литосферы вдоль профиля «Уральский» [4]. Цветовая шкала скоростных аномалий дана в процентах от нормальных значений. Синему тону соответствуют повышенные скорости, красному — пониженные. По горизонтали: внизу — шкала расстояний (км), сверху — номера пунктов наблюдения

телесеismicической томографии с целью исключения ошибок в определении времени в очаге и положения гипоцентра вычисляются, так называемые, центрированные (средневзвешенные) невязки, представляющие собой отклонения невязок от их среднего значения для всех станций профиля.

Суть метода обращения средневзвешенных невязок в скоростные неоднородности состоит в том, что среда, пересекаемая лучами, разбивается на систему слоев и блоков с постоянной скоростью, увеличивающейся с глубиной от слоя к слою в соответствии со стандартной моделью IASP91, где поправки к исходному разрезу, постоянные в каждом блоке, рассчитываются по невязкам времен пробега. Как следует из опыта сейсмотомографии и модельных расчетов, скоростные разрезы верхней мантии существенно различаются лишь для первых двух-трех сотен километров, следовательно, невязки формируются в основном за счет существующих здесь скоростных неоднородностей среды.

Для сейсмотомографического моделирования вдоль профиля «Уральский» было выбрано 25 телесеismicических событий с четкими вступлениями первых волн, одновременно регистрирующихся на максимально длинной базе большинством станций приблизительно в створе профиля. Их эпицентры располагались в противоположных азимутах от его направления с целью наибольшей полноты покрытия вертикального разреза изучаемой среды скрещивающимися лучами. Обработка первичного материала производилась в рамках согласованного проекта как французскими исследователями под руководством Ж. Пупине (Обсерватория, г. Гренобль) [13], так и специалистами Центра ГЕОН совместно с сотрудниками ИФЗ РАН под руководством А.В. Егоркина и Л.П. Винника [4]. Обращение невязок в томографический разрез осуществлялось с использованием программы АСН-2D, разработанной в ИФЗ РАН на основе решения обратной задачи в линеаризованной постановке согласно алгоритма К. Аки, когда невязки времен пробега сейсмических волн связаны со скоростными аномалиями

среды линейными соотношениями. В процессе решения обратной задачи рассматривалось несколько моделей с различным числом слоев и блоков и в конечном итоге выбиралась та, которая давала устойчивый результат с наилучшими характеристиками качества решения в параметрах матрицы стандартных ошибок, разрешения и процента объясненной невязки. Томографический разрез литосферы вдоль профиля «Уральский», составленный российскими специалистами по вышеуказанной технологии, представлен на рис. 4.

Достоверность полученных результатов подтверждена международным сравнением томографических разрезов литосферы вдоль профиля «Уральский», полученных разными авторскими коллективами и показавших их принципиальное соответствие друг другу. Главная особенность

полученного решения состоит в повышенной по отношению к Уралу скорости продольных волн в прилегающей части литосферы Восточно-Европейской платформы. Граница между этими блоками погружается в восточном направлении, что может объясняться продвижением Западно-Сибирской литосферной плиты на Восточно-Европейскую платформу.

Заключение

До середины 1990-х годов, вплоть до резкого снижения объемов глубинных сейсмических исследований на опорных профилях, Центр ГЕОН занимал лидирующее положение по методике проведения широкомасштабных региональных работ, цифровой обработке и интерпретации полученных данных.

Разработанный программно-методический комплекс обеспечил цифровую обработку данных многоволновой сеймики, начиная от препроцессинга сейсмических записей, выделения на основе адаптивной скоростной фильтрации монотипных волн, расчета пластовых скоростей по парным отражениям, составления временных разрезов обменных волн методом приемных функций и до лучевого моделирования разрезов земной коры путем решения прямой двухмерной задачи сеймики.

На основе геолого-геофизической интерпретации данных многоволнового ГСЗ и МОВЗ были созданы сейсмические разрезы, карты, схемы и атласы глубинного строения крупных геологических и минерально-сырьевых провинций России, позволившие существенно дополнить и уточнить имеющиеся представления о строении земной коры и верхней мантии и показать значимость разработанных глубинных критериев для прогноза нефтегазоносности и рудоносности.

По данным сейсмогеоэлектрических исследований, выполненных методами МОВЗ и МТЗ в сейсмоопасных районах Северного Кавказа, Алтая и Саян, была создана глубинная основа для сейсмотектонического районирования, установлено положение региональных, в том числе сейсмоактивных разломов, и сформулированы относительно устойчивые критерии для выявления возможных очаговых зон землетрясений (ВОЗ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Булин, Н.К. Региональный прогноз нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим критериям / Н.К. Булин, А.В. Егоркин. — М.: МПР России, ВСЕГЕИ, Центр ГЕОН, 2000. — 194 с.
2. Бурмин, В.Ю. Обращение годографов сейсмических волн, распространяющихся в вертикально неоднородных средах / В.Ю. Бурмин // Технологии сейсморазведки. — 2011. — № 3. — С. 5–16.
3. Ведринцев, А.Г. Система ввода, хранения и обработки данных ГСЗ и МОВЗ «Чароит» / А.Г. Ведринцев, К.Э. Пополитов // Разведка и охрана недр. — 1994. — № 10. — С. 35–37.
4. Винник, Л.П. Томографический разрез литосферы Урала / Л.П. Винник, Е.Е. Золотов, Г.Л. Косарев, В.А. Ракитов, А.В. Треусов // Докл. РАН. — 1996. — № 346 (5). — С. 668–671.
5. Ганжа, О.Ю. Решение обратной кинематической задачи сейсморазведки методом оптимизации / О.Ю. Ганжа // Применение численных методов в исследованиях литосферы / Под ред. А.С. Алексева. — Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1982. — С. 66–74.
6. Егоркин, А.В. Методика разделения интерферирующих сигналов на записях обменных проходящих волн / А.В. Егоркин, Т.И. Данилова, М.Г. Рыбалов // Прикладная геофизика. — М.: Недр, 1981. — Вып. 99. — С. 15–31.
7. Кац, С.А. Нелинейный интерференционный анализ сейсмических материалов региональных исследований земной коры и верхней мантии / С.А. Кац, Т.Н. Ершова, Н.Г. Михайлова, А.В. Егоркин, В.И. Утешев // Физика Земли. — 1977. — № 6. — С. 45–58.
8. Костюченко, С.Л. К 50-летию юбилею деятельности Центра ГЕОН / С.Л. Костюченко, А.В. Маухин, И.Н. Кадурин, В.А. Ракитов // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 2. — С. 28–37.

9. Кухмазов, С.У. Пакет программ DeltaApps для обработки данных, получаемых на РСС типа «Дельта» / С.У. Кухмазов. — М.: ВНИИГеофизика, 2009. — 42 с.
10. Российские арктические геотраверсы / Научн. ред. В.А. Поселов, Г.П. Аветисов, В.Д. Каминский. — С-Пб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2011. — 172 с.
11. Ganzha, O.Yu. Deep seismic sounding data processing on IBM PC/AT / O.Yu. Ganzha // The proceedings of XX Gen. Ass. of EGS. — Hamburg. 1995.
12. Langston, C.A. Corvallis, Oregon, crustal and upper mantle receiver structure from teleseismic P and S waves / C.A. Langston // Bull. of the Seismological Soc. of America. — 1977. — 67(3). — PP. 713–724.
13. Poupinet, G. Teleseismic tomography across the middle Urals: lithospheric trace of an ancient continental collision / G. Poupinet, F. Thouvenot, E.E. Zolotov, Ph. Matte, A.V. Egorкин, V.A. Rakitov // Tectonophys. — 1997. — 276. — PP. 19–33.
14. Vinnik, L.P. Detection of waves converted from P to SV in the mantle / L.P. Vinnik // Phys. Earth and Planet. Inter. — 1977. — V.15 (1). — PP. 39–45.
15. Zelt, C.A. Seismic traveltime inversion for 2-D crustal velocity structure / C.A. Zelt, R.B. Smith // Geophys. J. Int. — 1992. — V.108. — PP. 16–34.

© Коллектив авторов, 2019

Ганжа Олег Юрьевич // ganzhaoy@mail.ru
Кухмазов Сергей Улубекович // sergei.kukhmazov@mail.ru
Ракитов Владимир Александрович // rakitov47@mail.ru
Чернышев Юрий Геннадьевич // yuchern@mail.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК (696.6+628.9 622.143) (075.8)

Лимитовский А.М., Башкуров А.Ю. (МГРИ-РГГРУ)

ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД КАК АЛЬТЕРНАТИВА КОГЕНЕРАЦИОННОГО ЭНЕРГО-ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

*В работе рассмотрены электростанции собственных нужд, применяемые для оптимизации энергообеспечения объектов минерально-сырьевого комплекса, такие как газотурбинные установки и дизельные электростанции. Целью работы является поиск альтернативы когенерационного энергообеспечения объектов минерально-сырьевого комплекса. **Ключевые слова:** газотурбинные установки, энергообеспечение объектов.*

Limitovskiy A.M., Bashkurov A.Yu. (MGRI-RGGRU)
AUXILIARY POWER PLANTS AS AN ALTERNATIVE ENERGY COGENERATION FACILITIES MINERAL COMPLEX

*The paper discusses the captive power stations used for the optimization of energy supply of objects of the mineral complex, such as gas turbines and diesel power plants. The aim of this work is the search for alternative cogeneration energy objects mineral complex. **Keywords:** gas turbine, energy supply facilities.*

Предприятия по освоению объектов минерально-сырьевого комплекса, включающие в себя геологоразведочные и горные работы, несмотря на большое многообразие условий их производства и технического оснащения, имеют целый ряд специфических общих особенностей, присущих именно этому направлению, без учета которых не может быть представлена эффективная система энергообеспечения горно-геологического предприятия.

К числу таких особенностей относятся:

- удаленность, как правило, объектов от централизованных энергосистем и потребность их как в электрической, так и тепловой энергии;
- высокая энергоемкость проводимых работ, на которых доля энергетических затрат достигает 40 % от общего вложения средств;
- передвижной характер работ, ограниченные сроки их проведения и увязка энергообеспечения с предполагаемыми перспективами развития предприятия;
- влияние горно-геологических, технологических, климатических факторов на выбор энергетического оборудования и основания категоричности системы энергоснабжения.

На предприятиях горно-геологического профиля используются различные виды энергии (электрическая, тепловая, пневматическая), но базовой является электроэнергия, обладающая такими важнейшими свойствами, как возможность преобразования ее в любой другой вид энергии, передачи на любые расстояния, преобразование параметров применительно к потребностям по-

требителя, высокая степень автоматизации и компактности электрооборудования, экологическая чистота.

К числу недостатков этого универсального вида энергии относятся высокая себестоимость и сложность ее сохранения во времени.

Электроэнергия централизованного производства вырабатывается тепловыми (70 %) гидравлическими и атомными электростанциями (30 %) [2].

На тепловых и атомных электростанциях федерального уровня в качестве генерирующих устройств используются паротурбинные установки. Тепловые электростанции локального значения (собственных нужд) представлены дизельными и газотурбинными установками, которые по назначению подразделяются на основные, резервные и аварийные.

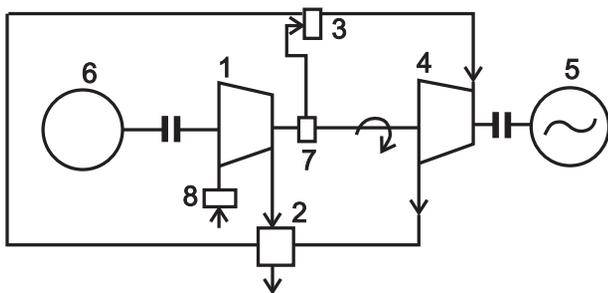
В практике горно-геологических работ в качестве местных энергоисточников наибольшее распространение получили дизельные электростанции (ДЭС), как более экономичные по сравнению с газотурбинными установками: их экономичность выше в 1,5 раза. Кроме того, они обеспечивают минимальное время пуска и приема стопроцентной нагрузки, что является определяющим фактором в первую очередь для аварийных энергоисточников.

Однако в качестве основных и резервных энергоисточников следует считать электростанции с газотурбинными двигателями, поскольку они более компактны и менее металлоемки, по сравнению с двигателями внутреннего сгорания, что обеспечивает возможность создания легко транспортируемых автоматизируемых энергоустановок мощностью до 6 МВт.

Газотурбинные установки (ГТУ) стационарного типа требуют минимального объема строительно-монтажных работ, надежно эксплуатируются в любых климатических условиях при отсутствии практически потребности в воде, отличаясь высокой степенью автоматизации, ГТУ позволяют работать как на жидком, так и на газообразном топливе, что является преобладающим их преимуществом перед ДЭС. Что же касается более низкой экономичности ГТУ (низкий КПД), то при потребности в тепловой энергии и использовании при этом утилизационных устройств этот их недостаток фактически нивелируется.

Основными узлами газотурбинной установки являются (рисунок) [1]:

компрессор 1, осуществляющий сжатие воздуха до необходимого давления; регенератор 2, в котором сжа-



Основные узлы газотурбинной установки

тый воздух подогревается за счет тепла отработанных газов турбин; камера сжигания 3, где происходит сгорание топлива; газовая турбина 4, преобразующая кинетическую энергию продуктов сгорания топлива в механическую; электрический генератор 5, вырабатывающий электрическую энергию; пусковой электрический двигатель 6; топливный насос 7; фильтр 8 для очистки воздуха.

Газотурбинные установки в сравнении с паротурбинными установками, используемыми в стационарных электростанциях, имеют в несколько раз меньший объем зданий, расход металла, количество обслуживающего персонала и на 30 % меньшую себестоимость электроэнергии.

Поэтому для объектов, ориентируемых на передвижной характер работ, ограниченные сроки функционирования в неосвоенных регионах, газотурбинные установки являются предпочтительными когенерационными энергоисточниками, обеспечивающими гибкость и надежность работ во всех ситуациях, в том числе параллельную работу в диапазоне нагрузок от нулевой до номинального значения при сохранении частоты вращения в пределах 98–101 % номинала.

Генератор ГТУ должен обеспечивать требования: параллельная работа с энергосетью, мгновенный наброс нагрузок, запуск двигателя при двукратном токе нагрузки, отключение при отклонении напряжения $\pm 1,5 \% U_{н}$. Он должен иметь защиту от перегрузки, замыкания на землю, потери возбуждения. Требования к управлению и защите ГТУ предусматривают наличие двух подсистем АСУ: электрической и теплотехнической. Первая из них — основная, в которой решаются задачи синхронизации генераторов, распределение нагрузок, регулирование частоты и напряжения, противоаварийного управления локальной системой. Вторая подсистема обеспечивает решение вопросов пуска, остановки, защиты управления газовых турбин и вспомогательного оборудования.

Что же касается аварийных энергоисточников, предусматриваемых в системах электроснабжения первой категории (подземные горные работы, буровые работы глубиной более 2000 м), то они должны создаваться, как правило, на базе дизельных электростанций. Число агрегатов аварийных ДЭС должно обеспечивать покрытие нагрузок ответственных энергопринимающих, обеспечивающих безаварийную остановку технического процесса. Аварийные ДЭС должны иметь две системы запуска (пневматическую и электрическую), обеспечивающие ввод резерва за 3–12 сек. [3].

Система АСУ аварийных ДЭС должны обеспечить:

- поддержание их в состоянии «горячего» резерва;
- автоматический запуск, ввод на параллельную работу с другими энергоисточниками по методу самосинхронизации и равномерное распределение нагрузок;
- автоматическое поддержание показателей, защиту и остановку генераторов при выходе за карты параметров;

Таблица 1
Дизель-электрические установки (станции)

Изготовитель	Город	Тип установки	Мощность, кВт	Напр. кВ	Тип двигателя	Тип генератора	Расход, г/кВтч
ООО «ЭЦ «Президент Нев»	Санкт-Петербург	АД100С-Т-400	100	0,4	ЯМЗ М2	Stamford	252
		АД200С-Т-400	200	0,4	ТМЗ	ГС-200	230
		АД315С-Т-400	315	0,4	ЯМЗ	БГ-315	226
ОАО «Звезда энергетик»	Санкт-Петербург	Звезда-410НК	410	0,4	«Камминз»	Stamford	107 л/ч
		Звезда-500НК	512	0,4	VTA28GT	Stamford	223
		Звезда-630НК	650	0,4	«Камминз»	Stamford	211
		Звезда-800НК	800	0,4	«Камминз»	Stamford	223
		Звезда-1000НК	1000	0,4	«Камминз»	Stamford	215
		Звезда-1600НК	1600	6,3–10,5	«Камминз»	Stamford	397 л/ч
ОАО ХК «Коломенский завод»		ЭД-2	1500	6,3	мощн. утил. 1000кВт		217
		Эд-7	1500	10,5			217
ЗАО «НТЦ РАСЭЛ»	Москва	ДЭУ – 30	30	0,4	Д-243	ГС-30	250
		ДЭУ – 60	60	0,4	ЯМЗ-236	ГС-60	
		ДЭУ – 100	100	0,4	ЯМЗ-236	ГС-100Б	
		ДЭУ – 200	200	0,4	ЯМЗ-75М	ГС-200	
ЗАО НПО «Сатурн»	Рыбинск	АД – 30	30	0,4	Д65А-П		290
		АД – 50	50	0,4	Д-65А-П		295
		АД – 100	100	0,4	ЯМЗ-238		300
		АД – 200	200	0,4	ЯМЗ-238		310

Таблица 2
Газотурбинные электростанции собственных нужд

№ п/п	Изготовитель	Город	Тип установки	Мощность, кВт		Напр., кВт	Двигатель	Генератор	Расход топлива
				Электрич.	Тепловая				
1	ООО «Рикорт»	Москва	ГТЭС-30	30	0,073 Гкал	0,4	С-50	Контейнерый	12н/м³
2			ГТЭС-60	60	0,197 Гкал	0,4	С-60	Юг, Север	22н/м³
3	ОАО «Электрогаз»	Краснодар	БКАЭ	30-630		0,4		Блочн-комплект.	
4	ОАО «Пролетарский завод»	Санкт-Петербург	ПГ-ТЭС-1500	1500		6,3/10,5			
5	ООО «Рикорт»	Москва	ГТЭС-1800	1800		0,4/6,3/10,5	OPRA	ГТО ОР	
6	ОАО «АОНАдвигатель»	Пермь	УРАЛ-2500	2500		6,3/10,5		Блочн.	
7	ОАО НПО «Сатурн»	Рыбинск	ГТЭС-2,5	2500		6,3/10,5	ДОУЭР	ГС-25-3000	
8	ЗАО «Искра Энергетик»	Пермь	ЭГЭС-4	4000	3,4 Гкал	6,3/10,5	Д-30ЭУ.2	ГТГ-4	1500н/м³
9	ОАО «Пермский мот. завод»	Пермь	ПАЭС-2500М	2500		6,3	ГТУ-2,5П	СГС-14-100У	
10	ОАО НПО «Сатурн»	Рыбинск	ГТА 60М	6000	11Гкал 13,6МВт	6,3/10,5			
11	ОАО «ЦКБ Лазурин»	Нижний Новгород	БГТЭС-9,5	9500		10,5	НК-14Э	Т-12-2ЭУЗ	0,218 кг/кВтч

— поддержание на оптимальном уровне топливно-го режима;

— автоматическое выполнение вспомогательных операций: подзарядку батарей, пополнение баков топливом.

Приведены таблицы электростанций собственных нужд, выпускаемых отечественными предприятиями, которые могут послужить основой для комплектования альтернативных систем когенерационного энергообеспечения объектов минерально-сырьевого комплекса страны, при решении вопросов оптимизации их энергообеспечения (табл. 1, 2).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Белоусенко, И.В. Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике нефтегазовой промышленности / И.В. Белоусенко, Г.Р. Шварц, С.Н. Великий, М.С. Ершов, А.Д. Яризов. — М.: Недра, 2007. — 487 с.
2. Лимитовский, А.М. Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ / А.М. Лимитовский, В.А. Косьянов. — М.: РУДН, 2009. — 384 с.
3. Моцохейн, Б.И. Электротехнические комплексы буровых установок / Б.И. Моцохейн. — М.: Недра, 1991. — 128 с.

© Лимитовский А.М., Башкуров А.Ю., 2019

Лимитовский Александр Михайлович //velektrika-3@inbox.ru
Башкуров Артем Юрьевич // Bashkurov_A@inbox.ru

Петроченков Д.А. (МГРИ-РГГРУ), Ружицкий В.В. (ФГБУ «ВИМС»)

СТРУКТУРНЫЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮВЕЛИРНЫХ КАССИТЕРИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИУЛЬТИН, ЧУКОТКА

*Приведены результаты изучения кристаллов касситерита ювелирного качества месторождения Иультин на просвечивающем электронном микроскопе. В касситерите выделены микрозоны поперечной пластинчатости, которые являются структурным выражением зон роста кристалла. В касситерите установлены микровключения аморфного углеродистого вещества (впервые), графита и графитизированного углеродистого вещества (впервые), гематита, гётита, тапиолита, рутила, ильменорутила, ферроксигита, анатаза, слоистых алюмосиликатов, апатита, шпинели, расположенных в зонах структурных нарушений. С зонами структурных нарушений и содержащимися в них микровключениями связаны плеохроизм, уровень тона и прозрачность кристаллов. **Ключевые слова:** касситерит, ювелирные минералы, структурные нарушения, микровключения, месторождения олова, Чукотка.*

Petrochenkov D.A. (MGRI-RGGRU), Ruzhitskiy V.V. (VIMS)
STRUCTURAL AND MINERALOGICAL PECULIARITIES
OF JEWELLERY CASSITERITES OF DEPOSIT IULTIN

*The results of study cassiterite crystals jewelry quality of Iultin deposit on a transmission electron microscope are presented. In cassiterite, microzones of transverse plate formation are distinguished, which are the structural expression of crystal growth zones. Micro-inclusions of amorphous carbonaceous matter (for the first time), graphite and graphitized carbonaceous matter (for the first time), hematite, goethite, tapiolite, rutile, ilmenorutile, ferroxygite, anatase, layered aluminosilicates, apatite, spinel, located in zones of structural impairment are found in cassiterite. Pleochroism, the level of tone and transparency of crystals are associated with zones of structural impairment and micro-inclusions contained in them. **Keywords:** cassiterite, jewelry minerals, structural disorders, micro-inclusions, tin deposits, Chukotka.*

Помимо использования касситерита как основного источника олова его кристаллы имеют высокую эстетическую ценность [1, 3, 7]. Стоимость крупных кристаллов с хорошо выраженными кристаллографическими формами, алмазным блеском граней на мировом рынке достигает нескольких десятков тысяч долларов. Касситерит по своим геммологическим характеристикам: показателю преломления — $n_o = 1,90-2,01$ и $n_e = 2,02-2,12$, дисперсии — 0,071, твердости — 6,5–7 по шкале Мооса, разнообразной окраске, несовершенной спайности не уступает многим популярным ювелирным минералам. Стоимость ограненных кристаллов касситерита часто превышает 100 долл. США за карат [7, 8].

В ряду месторождений с коллекционным и ювелирным касситеритом Иультин занимает особое место [4, 5].

На этом месторождении были найдены самые крупные в РФ кристаллы касситерита [4]. Многие кристаллы содержали прозрачные зоны, пригодные для огранки высокого качества (рис. 1). Систематического отбора коллекционных и ювелирных кристаллов при обработке месторождения не проводилось, в результате многие из них, в том числе уникальные, были утрачены.

Оловорудное месторождение Иультин расположено в Восточной Чукотке и является типичным примером кварцевого промышленного типа вольфрам-редкометалльно-оловянной формации [2, 4, 5]. Месторождение открыто в 1937 г. В.Н. Миляевым и с 1959 г. с завершением строительства горнодобывающего предприятия эксплуатировалось до 1993 г. Месторождение Иультин и в настоящее время обладает значительными запасами качественных оловянных руд и в перспективе, несомненно, возобновится его эксплуатация. В этом же районе расположены и другие месторождения олова: Светлое, Тенкергин, Снежное, на которых присутствует касситерит коллекционного и ювелирного качества [4]. В РФ в настоящее время касситерит не рассматривается в качестве ювелирного минерала [6], что осложняет использование действующей нормативно-правовой базы по недропользованию, сдерживая его добычу.

В статье приведены результаты детальных минералогических исследований касситерита ювелирного качества, позволяющие оценить факторы, определяющие геммологические характеристики кристаллов.

Результаты исследований

Минералогические исследования выполнены на кафедре минералогии и геммологии МГРИ-РГГРУ и



Рис. 1. Призматически-пирамидальный кристалл касситерита, масса 500 г. Музей «Самоцветы» № 3614 (а); ограненные касситериты: круг 6 мм (б) и октагон 5x7 мм (в). Месторождение Иультин

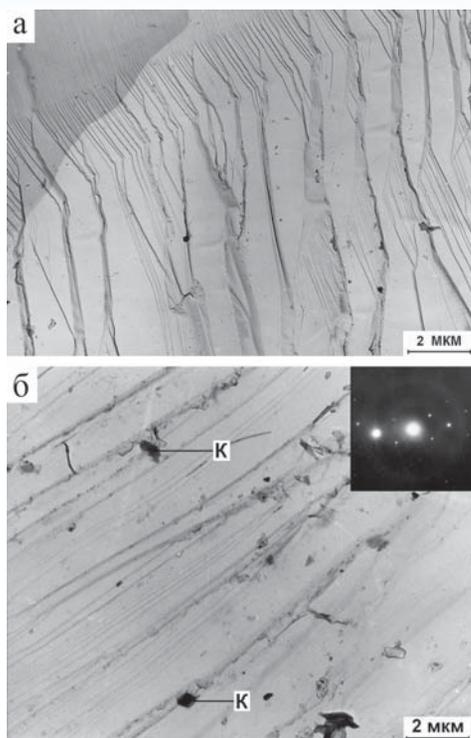


Рис. 2. Пластинчатая структура микрозоны в касситерите с ровной поверхностью скола (а); микровключения касситерита поздней генерации (К) в микрозоне с пластинчатой морфоструктурой и их МДК (б)

в ФГБУ «ВИМС». Изучение внутреннего строения и микровключений касситерита проведено на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) Tesla BS-540. Диагностика минеральных фаз проводилась по микродифракционным картинам (МДК). Проанализированы различные фрагменты кристаллов касситерита ювелирного качества.

По данным электронно-микроскопических исследований касситерит представляет хорошо раскристаллизованный монокристалл с характерным концентрическим ребристо-ступенчатым изломом. Основная часть светлых участков кристалла состоит из относительно крупных блоков с ровной поверхностью скола, включающих микрозоны с поперечной пластинчатой морфоструктурой (рис. 2а). Толщина пластин в микрозонах колеблется от 0,5 до 1,0 мкм. Пластины разбиты «паутинными» микротрещинами, создающими впечатление их тонкой слоистости. «Паутинные» микротрещины, являясь продолжением пластин, густой сеткой входят и в примыкающий блок с ровной поверхностью. На другом фрагменте пластины толщиной около 1,5 мкм разбиты тончайшими микротрещинами сложной формы (рис. 2б). Между микротрещинами и микрозонами поперечно развивается касситерит поздней генерации (рис. 2б). Между микрозонами поперечной

пластинчатости расположены блоки кристалла с ровной поверхностью скола.

Темные участки касситерита имеют также концентрически-ступенчатый скол, но в них практически отсутствуют блоки с ровной поверхностью. Характерна система разноориентированных микротрещин. Часто система микротрещин приурочена к микрозонам с пластинчатой морфоструктурой, аналогичной для светлых участков. Реже встречаются микрозоны с таблитчатой, иногда сочетанием таблитчатой с пластинчатой морфоструктурами (рис. 3а). Ширина таблитчатых выделений составляет 3–4 мкм. Пластинчатые выделения на контакте с таблитчатыми выклиниваются или их огибают (рис. 3а). Таблитчатые выделения, в свою очередь, осложняются мельчайшими пластинчатыми. Зоны поперечной пластинчатости в темных участках кристалла имеют значительную ширину (40–70 мкм) и протяженность. Описанные морфоструктуры отражают зоны роста кристаллов касситерита. К ним и микротрещинам приурочена основная часть минеральных включений.

В матрице касситерита получила развитие более поздняя его генерация (рис. 2б, 3б, 5а). Касситерит поздней генерации короткопризматический, размером 0,4–2 мкм, приурочен к трещинам в микрозонах с пластинчатой морфоструктурой и ассоциирует иногда с микровключениями рутила, ильменорутила. Часто поздняя генерация касситерита расположена на границе микроблоков и ассоциирует с аморфным углеродистым веществом, графитизированным углеродистым веществом, дисперсными выделениями

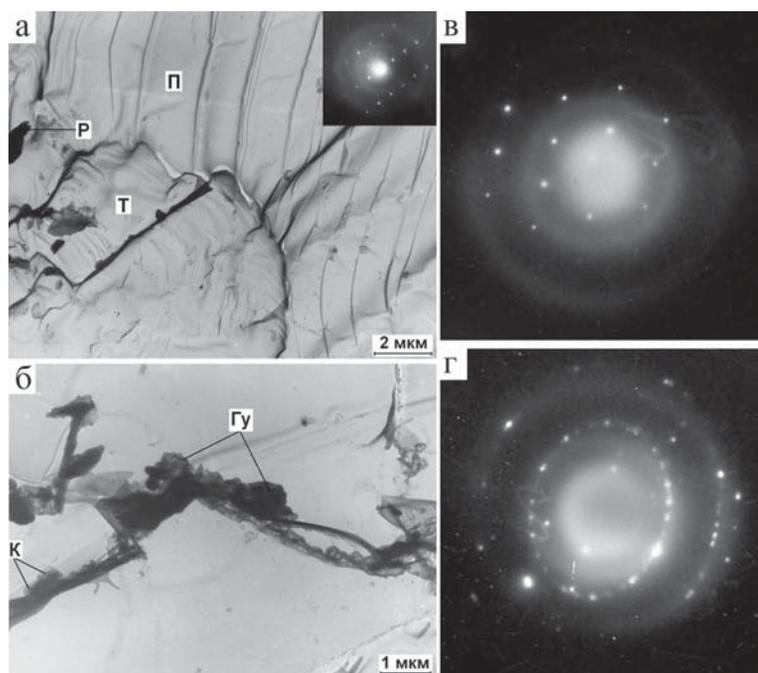


Рис. 3. Таблитчатая (Т) и пластинчатая (П) морфоструктуры касситерита с микровключениями рутила (Р) и его МДК (а); микровключения касситерита поздней генерации (К) и графитизированного углеродистого вещества (Gu) на границе микроблоков (б). МДК касситерита (v) и графитизированного углеродистого вещества (r)

оксидов и гидроксидов железа. Кристаллы размером около 0,8 мкм имеют иногда удлиненный призматический габитус. МДК поздней генерации касситерита свидетельствует о хорошей раскристаллизации и монокристалльности.

В результате электронно-микроскопических исследований выявлен ряд минеральных микрофаз: графит и графитизированное углеродистое вещество, аморфное углеродистое вещество, гематит, гётит, ферроксигит, тапиолит, слоистые алюмосиликаты, ильменорутит, рутил, шпинель, анатаз, апатит. Намечены тенденции их распределения.

Графит и графитизированное углеродистое вещество является распространенным образованием в матрице касситерита, хотя в настоящей работе выделено впервые. Тяготеет она к границам блоков и наблюдается как в виде достаточно хорошо оформленных полупрозрачных кристаллов размером 1–5 мкм, так и агрегатов мелких полупрозрачных чешуек, трассирующих границы блоков и зоны роста (рис. 3б). Образования характеризуются четкими точечными и точечно-кольцевыми, нередко текстурированными микродифракционными МДК, по которым проведена их диагностика.

Аморфное углеродистое вещество встречается достаточно часто, но в касситерите выделено впервые. Оно фиксируется в микрizonaх с пластинчатой морфоструктурой на границе микроблоков и в минерализованных микротрещинах (рис. 4а, 6б). Аморфное углеродистое вещество представлено изометричными полупрозрачными образованиями в случае извлеченных на реплику частиц и обладающими гладкой поверхностью в случае получения с них реплик. Размер выделений 0,2–5 мкм. Нередко в аморфном углеродистом веществе фиксируются мельчайшие минеральные образования, в частности, тапиолита и апатита (рис. 4а). Оно также ассоциирует с касситеритом поздней генерации.

Гематит встречается достаточно часто на поверхности микротрещин касситерита в виде мельчайшей «сыпи». Иногда минерал образует сплошные пленоч-

ные выделения, состоящие из удлиненных, редко чешуйчатых образований. В наиболее раскристаллизованных участках устанавливается веретеновидная форма микровыделений гематита размером до 1 мкм. Минерал диагностирован по точно-кольцевым текстурированным МДК (рис. 4е).

Гётит отмечается в минерализованных микротрещинах в виде мельчайших (0,1–0,2 мкм) полупрозрачных округлых выделений и пленочных образований до 1 мкм. Гётит встречается также совместно с ферроксигитом (рис. 5г) и гематитом. Фазовая диагностика гётита проведена по текстурированным точно-кольцевым МДК. Отметим, что образование оксидов и гидроксидов железа в микротрещинах и микроблоках с пластинчатой морфоструктурой, возможно, связано со сбросом лишнего железа из кристаллической структуры касситерита.

Ферроксигит и гётит отмечаются на поверхности скола касситерита в виде агрегата мельчайших полупрозрачных округлых образований, формирующих более крупные обособления размером до 1 мкм (рис. 5г). МДК, полученные из различных частей обособления, свидетельствуют о присутствии ферроксигита (рис. 5д) и гётита (рис. 5е).

Тапиолит встречается в виде слабо удлиненных призматических кристаллов размером около 1 мкм в микроблоках с пластинчатой морфоструктурой и на границе микроблоков в ассоциации с выделениями аморфного углеродистого вещества, апатита (рис. 4а) и оксида железа. С кристаллов тапиолита получены точечные МДК, по которым проведена фазовая диагностика.

Слоистые алюмосиликаты зафиксированы в единичном случае на участке распространения гидроксидов железа. Они представлены мелкими чешуйчатыми выделениями размером 0,7–2 мкм (рис. 6а), с которых получены четкие точечные МДК.

Ильменорутит встречается в виде дисперсных (0,2 мкм) выделений в микротрещинах (рис. 5а) и удлиненных призматических кристаллов размером до

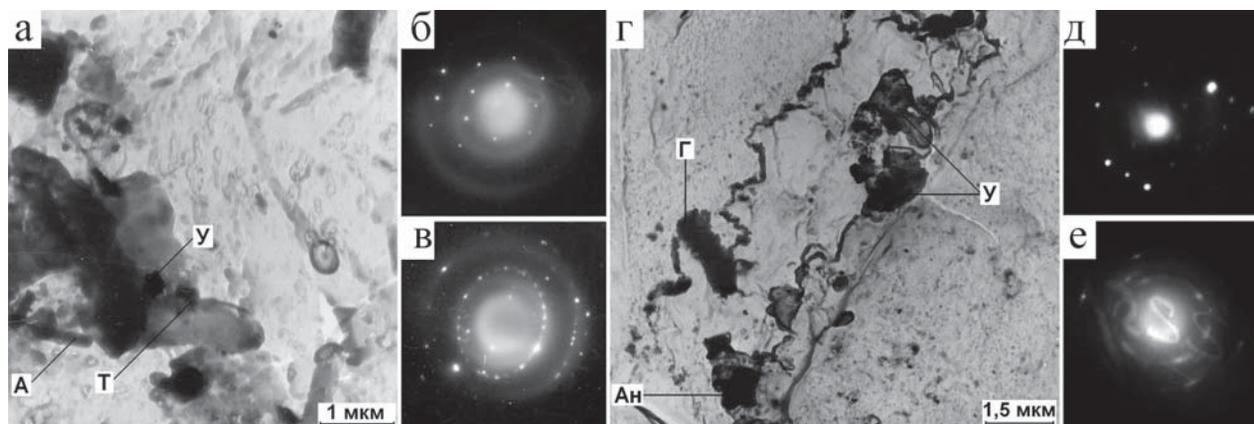


Рис. 4. Выделения аморфного углеродистого вещества (У) с микровключениями тапиолита (Т) и апатита (А) на границе микроблоков касситерита (а); микровключения анатаза (Ан), гематита (г) и аморфного углеродистого вещества (У) в минерализованной микротрещине (г). МДК тапиолита (б), апатита (в), анатаза (д) и гематита (е)

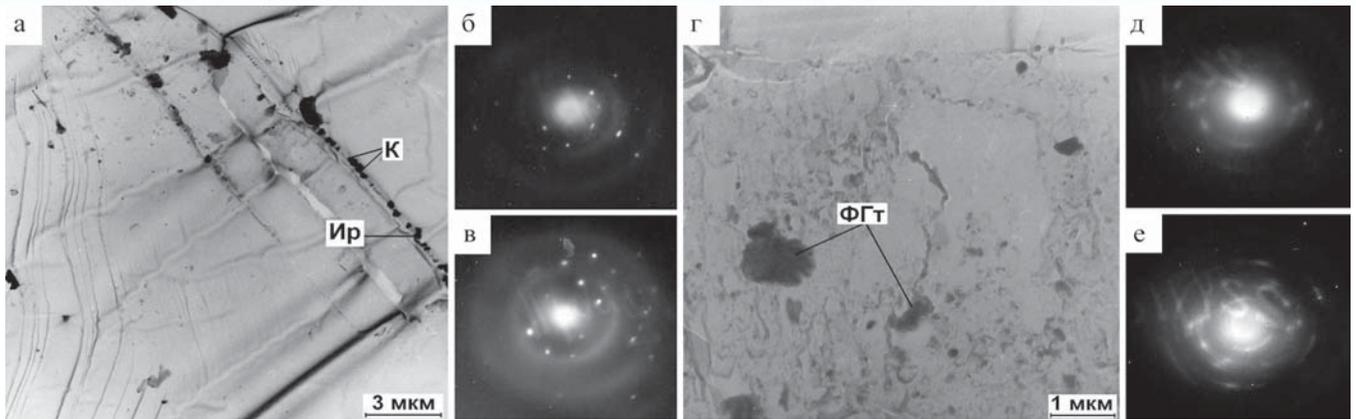


Рис. 5. Микровключения касситерита поздней генерации (К) и ильменорутила (Ир) в микрозоне с пластинчатой морфоструктурой (а); микровключения ферроксигита и гëтита (ФГт) в минерализованной микротрещине (г). МДК касситерита (б), ильменорутила (в), ферроксигита (д) и гëтита (е)

2 мкм. Часто ассоциирует с касситеритом поздней генерации и оксидами, и гидроксидами железа. Диагностика минерала проведена по достаточно четким точечным МДК.

Рутил зафиксирован на контакте микроблоков с таблитчатой и пластинчатой морфоструктурами в виде удлиненного выделения размером 1,2 мкм (рис. 3а). С него получена четкая точечная МДК рутила с осью зоны [113].

Шпинель размером 0,2 мкм установлена по точечной МДК, полученной с выколки в микроблоке с пластинчатой морфоструктурой (рис. 6б). На МДК помимо точечных отражений шпинельной фазы с осью зоны [011] отмечаются слабо проявленные рефлексы касситерита. Полученные межплоскостные расстояния соответствуют фазе шпинели с достаточно высоким параметром кристаллической решетки и, возможно, представленной оловосодержащей разновидностью. Формирование шпинели, по-видимому, обусловлено частичным распадом кристалла касситерита.

Анатаз зафиксирован в единичном случае в минерализованной микротрещине. Минерал короткопризматический, размером 0,4 мкм, ассоциирует с полупрозрачными образованиями аморфного углеродистого вещества и удлиненным выделением гематита, состоящим из агрегата мельчайших округлых образований (рис. 4г). Фазовая диагностика анатаза проведена по точечной МДК (рис. 4д), гематита — по кольцевой текстурированной (рис. 4е).

Апатит зафиксирован в единичном случае в аморфном углеродистом веществе в виде удлиненного кристалла размером 0,4 мкм (рис. 4а, в).

Выводы

Касситерит по данным электронно-микроскопических исследований представляет хорошо раскристаллизованный монокристалл с характерным концентрическим ребристо-ступенчатым изломом, в пределах которого наблюдаются микрозоны поперечной пластинчатости. Такие зоны широко распространены в касситерите, являясь структурным выражением зон роста кристалла. Толщина отдельных пластин составляет десятки доли микрометра и сопоставима с длиной волны света, что может оказывать существенное влияние на его прохождение в кристалле.

Подавляющее большинство минеральных микровключений: поздние генерации касситерита, тапиолит, гематит, слоистые алюмосиликаты, аморфное углеродистое вещество (выделено впервые), графит и графитизированное углеродистое вещество (выделено впервые), ильменорутил, апатит, анатаз, шпинель, гëтит, ферроксигит, рутил приурочены к зонам структурных нарушений. Формирование оксидов и гидроксидов железа связано со сбросом избыточного железа из структуры кристалла касситерита в ослабленные зоны.

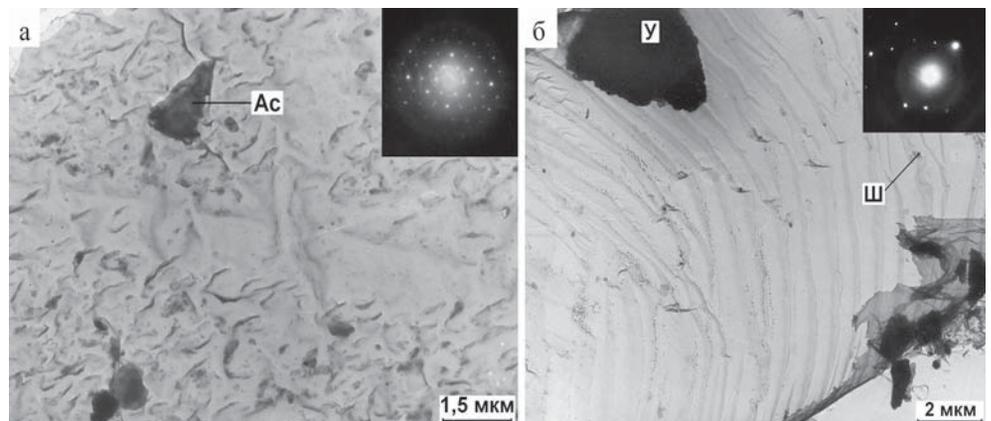


Рис. 6. Микровключения слоистого алюмосиликата (Ac) и его МДК (а); микровключения шпинели (Ш) и аморфного углеродистого вещества (У) в зоне с пластинчатой морфоструктурой, МДК шпинели (б)

В темных участках касситерита чаще встречаются минерализованные микротрещины, микрзоны с пластинчатой и таблитчатой морфоструктурами, а также зафиксировано большее количество микровключений различных минералов. В светлых участках касситерита наблюдаются значительные по площади микроблоки с ровной поверхностью скола. Со структурными особенностями касситерита, выраженными зонами поперечной пластинчатости и содержащимися в них микровключениями связаны псевдохроматический плеохроизм, уровень тона, цветовые оттенки и прозрачность кристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буканов, В.В. Цветные камни / В.В. Буканов. — СПб.: Энциклопедия, 2008. — 416 с.
2. Геология оловорудных месторождений СССР / Под ред. С.Ф. Лугова. — Т. 2. — Кн. 1. Оловорудные месторождения СССР. — М.: Недра, 1986. — 429 с.

3. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 27. Коллекционные камни / Под ред. Н.И. Кашева, В.П. Дроздова. — М.: Союзкварцсамоцветы, 1987. — 76 с.
4. Петроченков, Д.А. Формационные типы оловорудных месторождений, перспективные на коллекционные и ювелирные касситериты / Д.А. Петроченков // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2007. — № 2. — С. 31–35.
5. Петроченков, Д.А. Коллекционные и ювелирные касситериты месторождения Иультин / Д.А. Петроченков // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2018. — № 1. — С. 76–80.
6. Полянин, В.С. Минерально-сырьевая база цветных камней России: перспективы ее освоения и развития / В.С. Полянин, Т.А. Полянина, Е.Н. Дусманов и др. // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 9. — С. 66–76.
7. Kolin, J.H. Cassiterite from Viloco, Bolivia / J.H. Kolin // Gems and Gemology. Summer. 2002. — P. 175–176.
8. Miler, M. Standard Catalog of Gem Values. / M. Miler, S. Sinkankas // Geoscience Press. Inc. Tucson, Arizona, 1977. — P. 271.

© Петроченков Д.А., Ружицкий В.В., 2019

Петроченков Дмитрий Александрович // p-d-a@mail.ru
Ружицкий Владимир Васильевич // vims@df.ru

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 338.33: 553.04

Краснов О.С. (АО «ВНИГРИ»), Салихов В.А., Король Л.Н. (Новокузнецкий филиал ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (НФИ КемГУ))

МЕХАНИЗМ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕННЫХ РЕДКИХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДАХ

В связи с дефицитом для промышленности РФ многих цветных и редких металлов предложен механизм оптимизации использования этих металлов, содержащихся в техногенных месторождениях. Проведен анализ потребления цветных и редких металлов в мире и России. Оценена эффективность разработки техногенных месторождений в сравнении с рудными. Определено, что выбор объектов, методов разработки, а также видов получаемой продукции и направлений ее использования, проводится путем комбинирования с учетом социально-экологического эффекта. Дана оценка влияния проектов по извлечению ценных металлов на социально-экономическое развитие региона. **Ключевые слова:** металлы, техногенные отходы, оптимизация, эффективность.

Krasnov O.S. (VNIGRI), Salikhov V.A., Korol L.N. (Novokuznetsk Institute (branch) Kemerovo State University)
THE MECHANISM FOR OPTIMIZING THE USE OF VALUABLE RARE AND NON-FERROUS METALS CONTAINED IN MINERAL RAW MATERIALS AND INDUSTRIAL WASTES

Due to the shortage of many non-ferrous and rare metals for the RF industry, a mechanism has been proposed to optimize the use of these metals contained in man-made deposits. The

analysis of consumption of non-ferrous and rare metals in the world and Russia is done. The efficiency of the development of technogenic deposits in comparison with ore ones is estimated. It has been determined that the selection of objects, development methods, as well as the types of the products obtained and the directions of their use, is carried out by combining taking into account the socio-ecological effect. The assessment of the impact of projects on the extraction of valuable metals on the regional socio-economic development is given. **Key-words:** metals, industrial waste, optimization, efficiency.

В XXI в. продолжается развитие металлургического и машиностроительного комплексов, развивается космическая и авиационная техника, электроника и другие отрасли промышленности. Растет потребность в цветных и, особенно, в редких металлах — как в развитых, так и в развивающихся странах (например, в Китае). Прогнозируемый рост экономики в России предполагает рост потребностей в цветных и редких металлах.

Таким образом, проблема воспроизводства минерально-сырьевой базы цветных и редких металлов становится все более актуальной в мире и России. В условиях рыночной экономики становятся нерентабельными многие ранее разведанные месторождения с балансовыми запасами металлов (возрастают расходы на электроэнергию, на транспортировку минерального сырья и т.д.). При этом по мере отработки промышленных запасов руд ухудшаются горно-геологические условия эксплуатации, снижается не только количество, но и качество руд. Поэтому все больший интерес в качестве ресурса этого дефицитного минерального сырья представляют техногенные месторождения.

Концепция оптимизации использования ценных металлов, содержащихся в техногенных отходах, пред-

Таблица 1
Изменение цен на основные цветные металлы в 2006–2018 гг., долл. США/т

Металл	2006 г. октябрь	2008 г. ноябрь	2009 г. август	2009 г. декабрь	2012 г. декабрь	2013 г. октябрь	2015 г. август	2018 г. декабрь
Al	2 731	1 720	1 900	1 815	2 000	1 805	1 805	1 930
Cu	7 846	3 665	5 900	5 955	7 800	7 186	7 186	6 100
Pb	1 800	1 086	1 800	2 161	2 300	2 113	2 113	1 950
Zn	3 995	1 210	1 790	1 905	2 050	1 887	1 887	2 600
Ni	34 500	10 160	18 600	17 300	17 300	13 895	13 895	11 000
Sn	15 000	12 700	14 800	14 225	23 000	23 100	23 100	19 300

полагает поэтапное исследование этих объектов. Сам механизм включает следующие этапы: сравнение эффективности производства этих металлов из рудных или техногенных месторождений; оптимизация использования ценных металлов (выбор перспективных объектов и рациональных методов извлечения), содержащихся в техногенных ресурсах, для решения проблем рационализации природопользования и инновационного развития экономики региона. Все исследования базируются на анализе и прогнозе динамики потребления цветных и редких металлов в мире и РФ.

Мировое потребление цветных металлов ежегодно прирастает примерно на 3 %, а редких металлов — на 3–10 %. Особенно заметными темпами увеличивается потребление меди, никеля, олова. В основном это происходит за счет бурно развивающихся экономик Китая, Индии и других стран юго-восточной Азии [3].

В целом, анализируя тенденции использования минерально-сырьевой базы цветных и редких металлов, следует отметить рост их добычи и потребления на

3–10 % в год, рост цен на 10–15 % в год до 2005 г., резкий спекулятивный рост цен (в 2–4 раза) в 2006 г., опережающий рост объемов потребления. В октябре 2008 г. произошел мировой финансовый кризис и к декабрю 2008 г. произошло резкое снижение цен на цветные металлы (табл. 1) [8], цены на большинство редких металлов до августа 2009 г. оставались устойчивыми и имели тенденции к росту, но затем отмечено резкое снижение цен (более 50 %). К концу 2009 г. цены на редкие металлы вернулись на уровень августа 2009 г. Цены на цветные металлы в 2009 г. имели тенденцию к снижению, к концу года отмечен незначительный рост цен. В 2010–2012 гг. рост цен продолжился, но с 2012 г. спрос и цены на цветные металлы опять стали снижаться (табл. 2).

Сжимание рынка цветных и редких металлов продолжалось до 2016 г. (табл. 3). Сжатие рынка металлов за 5 лет (2011–2016 гг.) составило 37 %. При этом сжатие рынка цветных металлов составило 29 %. В 2016 г. мировой рынок цветных металлов приостановил падение [1]. В настоящее время ситуацию на этом рынке можно охарактеризовать как неустойчивый рост (табл. 1, 2).

Пик стоимости редкоземельных металлов (РЗМ) достигнут в период лето — осень 2011 г. (табл. 4) [11], затем отмечен спад, вызванный частичным восстановлением экспортных поставок Китаем [2]. В 2016 г. производство редкоземельных металлов снизилось до 100 тыс. т, а цены упали в несколько раз (например, диспрозий — 400 долл. США/кг) [1]. Эта тенденция сохраняется и сейчас. В августе 2018 г. в КНР цены на РЗМ составили (долл. США/кг): диспрозий — 240, иттрий — 33, празеодим — 97, тербий — 580 [12], но в перспективе прогнозируется рост спроса на РЗМ из-за востребованности в IT-технологиях.

Рынок цветных металлов России также неустойчив. Также наблюдался спад их производства в 2009 и 2012 гг. С 2012 г. отмечен неустойчивый спад, а с 2016 г. — неустойчивый рост производства цветных металлов. Соответственно растет импорт этих металлов. При этом РФ импортирует полиметаллы и другие цветные (вольфрам, молибден, титан), а также редкие (ванадий, германий, тантал, ниобий) металлы [9, 10]. Несмотря на одно из ведущих мест России в мире по разведанным запасам многих редких и редкоземельных металлов, сравнительно мал удельный вес этих металлов в мировом производстве [4].

Таблица 2
Цены на цветные и редкие металлы (2000–2018 гг.)

Металл	Цена, долл. США/кг			
	2000 г.	2006 г.	2012 г.	2018 г.
Вольфрам	10	45	50–60	35–45
Ванадий (пентаксид)	10	40	30–40	40–45
Алюминий металлич.	1,5	2,5–3	2,0	1,8–1,9
Стронций металлич.	60	120	150	120–130
Медь рафинир.	2–2,5	7–11	7,8	5,5–6,8
Никель	5–8	30–35	17,3	9–12
Олово	5,5–7	10–15	23	19–20
Свинец	0,6–0,9	1,5–2	2,3	1,9–2,3
Цинк	1–1,3	3,5–4	2	2,5–2,8
Молибден	5–10	80	75	24–26
Титан губчатый	10	20–25	10–15	7–12
Цирконий губчатый	25	30	20–25	20–25
Ниобий	60–75	230–240	200–220	70–100
Галлий	380–400	1 200	920–930	155–195
Германий	825–1 300	2 500	1 750	1 300–1 650

Эти обстоятельства требуют развития в РФ собственного производства редких и цветных металлов, в том числе и за счет их извлечения из техногенных месторождений с повышенными содержаниями ценных металлов [6].

Перспективность и конкурентоспособность производства по извлечению ценных металлов из техногенных отходов можно наглядно продемонстрировать с помощью метода последовательного размещения про-

изводства (так называемых технологических цепочек), а также с помощью теории графов [7].

С помощью метода технологических цепочек можно сравнить традиционный путь получения конечного продукта (металлов и металлоизделий) из рудных месторождений и из отходов переработки руд (техногенных месторождений). Получение конечного продукта из руды включает четыре звена переработки: добычу (получение из горной массы руды); обогащение (полу-

чение из руды концентрата); производство из концентрата промежуточного продукта; получение конечного продукта (рис. 1).

Получение металлов и металлоизделий из техногенных отходов проходит в два этапа: извлечение из отходов промежуточных продуктов, а затем получение из промежуточных продуктов конечных продуктов. При подобном подходе на каждом этапе сравниваются следующие годовые показатели: себестоимость, объем капиталовложений, годовая мощность (производительность), концентрация полезного компонента. При этом величины себестоимости и капиталовложений поэтапно суммируются.

Себестоимость получения металлов традиционным путем, включая затраты на геологоразведочные работы, добычу руды, ее обогащение, получение металлов и металлоизделий, будет значительно выше, чем при эксплуатации техногенных месторождений. На величину общих затрат влияет не только большое количество этапов (технологических цепочек), но и больший масштаб проводимых работ. Значительно больше будет и объем капиталовложений в разработку рудного месторождения, а также годовая мощность (производительность) горнодобывающего предприятия.

Добыча редких и цветных металлов на руднике может составлять тысячи, десятки и сотни тысяч тонн. Извле-

Таблица 3
Состояние мирового рынка цветных и редких металлов в 2011–2016 гг.

Металл	Объем производства, тыс. т	Цена, долл. США/кг	Объем рынка, млн. долл. США	Доля на рынке, %	В сравнении с 2011 г., %		
					Объем пр-ва	Цена	Объем рынка
Алюминий	74 122,55	1,61	119 274	10 336	5,4	-6,7	-3,1
Медь	23 560,75	4,87	114 668	9,937	4	-9	-6,8
Цинк	13 648,82	2,1	28 626	2,481	0,9	-1,0	-0,2
Свинец	10 751,31	1,88	20,181	1,749	0,1	-4,3	-4,2
Никель	1 934	9,65	18 654	1,617	4,1	-11,6	-9,8
Олово	342,52	17,88	6,124	0,531	-2,1	-6,3	-7,7
Золото	4,57	40140,85	183475	15,9	0,9	-9,3	-8,8
Серебро	33,35	548,81	18 305	1,586	0,4	-10,3	-10,1
Платина	0,25	31825,38	7 835	0,679	-1,5	-8,5	-9,3
Палладий	0,28	19 739,59	5 551	0,481	-1,4	-3,2	-4,4
РЗМ	126,5	72,5	9 171	0,795	-0,5	-14,8	-14,9
Молибден	242,4	14,52	3 519	0,305	-1,6	-11,5	-12,2
Ниобий	65,69	47,71	3 134	0,272	0,9	-2,9	-2,2
Вольфрам	92,45	21,35	1 974	0,171	5	-10	-7,5
Ванадий	83,53	18,5	1 546	0,134	3,4	-7,1	-5,0
Титан	219,93	4,06	892	0,077	2,0	-11,0	-10,1
Цирконий	5	50	250	0,022	0,0	-4,4	-4
Германий	0,18	1151	211	0,013	11,1	-5,3	2,8
Галлий	0,48	134	64	0,006	11	-16,6	-14,8
Тантал	1,39	127,83	178	0,015	15,2	-10,7	-37
Индий	0,82	240,17	198	0,017	5,7	-13,0	-11,0
Висмут	16,85	9,93	167	0,014	1,1	-12,1	-11,7
Гафний	0,02	548,00	11	0,001	-16,0	0,1	-16,0
Теллур	0,12	31,64	3,9	0,000	10,9	-18,2	-17,2

Таблица 4
Динамика изменения цен на РЗМ в мире в 2008–2012 г., долл. США/кг

РЗМ	Средняя цена за весну 2011 г.	Средняя цена за лето 2011 г.	Средняя цена за осень 2011 г.	Средняя цена за зиму 2011–2012 гг.	Средняя цена за март 2012 г.
Гадолиний	173,7	218,7	200	200	200
Диспрозий	1072,5	2760	2876,6	2516,6	2000
Европий	1756,6	5793,3	5436,6	4916,6	4500
Иттрий	158	198,5	173,3	162	155
Лантан	145,4	108,6	103,3	63	53
Неодим	274,4	440,4	315	202,5	186
Празеодим	232,5	273,2	273	250	235
Самарий	142,5	179,6	168	138,3	137
Тербий	1800	4400	4126,4	3783,3	3600
Церий	147,5	159,5	112,7	67,5	55

Входы – Звенья переработки – Выходы

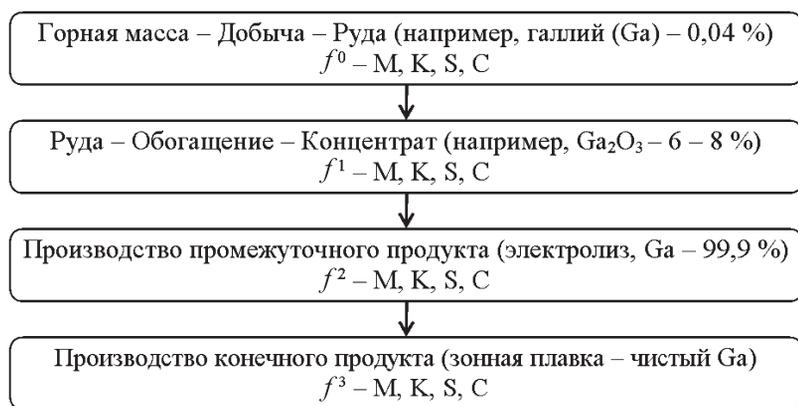


Рис. 1. Общий вид производственной цепочки: М — годовая мощность; К — объем капиталовложений; S — годовая себестоимость; С — концентрация полезного компонента; f^0, f^1, f^2, f^3 — коэффициенты расхода вещества, поступившего на вход, на единицу сырья и продукта на выходе

чение металлов из техногенных отходов на специальных установках позволит получать только тонны и десятки тонн ценных металлов в год. В то же время при близких показателях концентрации ценных металлов (сотые, десятые процента) себестоимость их извлечения из техногенных отходов может быть значительно ниже традиционной на каждом этапе и, разумеется, в сумме. Концентрации ряда цветных металлов (например, свинца, цинка и меди) в рудах таковы, что для получения 1 т металла требуется переработать не менее 100 т руды [7]. При получении этих металлов техногенным путем те же 100 т отходов минерального сырья будут утилизироваться. Содержание редких и рассеянных элементов (галлий, германий и др.) в рудах, и в углях может составлять десятые, сотые доли процента и ниже. При этом содержание этих элементов в золошлаковых отходах углей выше на порядок, чем в углях, но для извлечения металлов потребуется переработать сотни, тысячи тонн отходов. Таким образом, сократятся площади земель, занимаемые техногенными отходами, снизится нагрузка на окружающую среду. Оставшийся после извлечения металлов из отходов материал можно использовать в строительстве. Получаемые строительные материалы будут безопасны для здоровья людей, так как многие ценные металлы, извлекаемые из золошлаковых отходов (бериллий, ванадий, кобальт и др.), являются токсичными.

Расчет суммарной себестоимости по технологической цепочке следует производить (на первом этапе — S^1):

$$S^1 = f^1 \times (S^0 + a^1 + t \times l^1),$$

где S^0 — себестоимость добычи руды, руб./т; S^1 — себестоимость получения концентрата, руб./т; a^1 — затраты на обогащение руды и получение 1 т концентрата, руб.; l^1 — расстояние транспортировки руды до места обогащения; t — тариф перевозки 1 т груза (≈ 10 долл. США за 1 т на расстояние до 1000 км); f^0, f^1, f^2, f^3 — коэффициенты расхода продукции, по-

ступившей на вход, на этапах добычи руды, получения концентрата, пром. продукта, металла. Эти коэффициенты рассчитываются с учетом величины извлечения металлов (ϵ), определяемой по их содержанию (C), т.е. $f = 1 / \epsilon$, например:

$$\epsilon = \frac{C_{\text{конц}} \times (C_{\text{руда}} - C_{\text{отходы}})}{C_{\text{руда}} \times (C_{\text{конц}} - C_{\text{отходы}})},$$

При расчете ϵ на стадиях 3 и 4 коэффициенты f^2, f^3 можно объединить в единую стадию получения металла. Тогда в среднем для цветных металлов значение $f^1 = 1,3$; f^2 и $f^3 = 1,2$, для редких металлов в рудах $f^1 = 1,5$; f^2 и $f^3 = 1,25$, а для зол углей f^2 и $f^3 = 1,2$.

Себестоимость получения исходного продукта ($S_{\text{к.п.}}$), можно определить:

$$S_{\text{к.п.}} = C \times \alpha \times (1 - \Pi),$$

где C — цена конечного продукта, тыс. руб.; α — удельный вес себестоимости исходного продукта в конечном, доли ед.; Π — приемлемая норма прибыли предприятия, выпускающего конечный продукт, доли ед.

Объем капиталовложений рассчитывается на каждом этапе на 1 т продукции с учетом объемов ее производства. Производительность оценивается с помощью коэффициента обогащения (KF), который показывает, например, столько тонн руды (или ЗШО) необходимо переработать для получения 1 т концентрата ($KF = C_{\text{конц}} / C_{\text{руда}} \times \epsilon$) или с помощью коэффициента извлечения массы (MR), величины обратной KF. Он показывает, какая часть добытой руды (или ЗШО) извлекается в концентрат ($MR = 1 / KF$).

Кроме того, надо учитывать, что эффективность геологоразведочных работ по техногенным месторождениям, как отношение ценности минеральной продукции к затратам на геологоразведочные работы будет существенно выше.

Эффективность извлечения ценных редких и цветных металлов можно наглядно продемонстрировать также с помощью теории графов. Графом, в общем случае, называется абстрактный объект, состоящий из двух множеств — множества вершин (или узлов) и множества ребер, соединяющих определенным образом эти вершины [7]. Если для ребра определено понятие «начала» и «конца», т.е. задана его ориентация, то оно называется ориентированным ребром или дугой. Соответственно если все ребра графа ориентированы, то такой граф называется ориентированным графом.

В нашем случае с помощью ориентированных графов можно наглядно сравнить поэтапное производство редких металлов из рудных и техногенных месторождений. Если каждой вершине ориентированного графа сопоставить описание функционирования этого элемента (объекта), то получим локальную модель этого элемента (вершины). Аналогично, каждому ребру можно сопоставить локальную модель этого ребра,

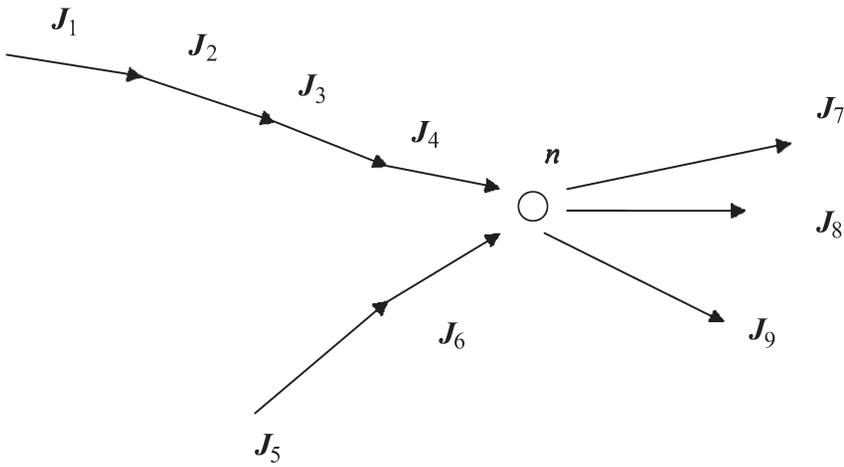


Рис. 2. Сравнительная эффективность получения редких металлов: J_1, J_2, J_3, J_4 — стадии производства металлов из рудных месторождений (соответственно добыча, обогащение, получение промежуточного продукта, получение металла); J_5, J_6 — получение редких металлов из техногенных отходов; n — производство металлоизделий; J_7, J_8, J_9 — применение металлоизделий в различных отраслях промышленности

т.е. описание соответствующей связи. Граф, описывающий структуру рассматриваемой части или полной системы совместно с совокупностью локальных моделей ее компонент, представляет собой сетевую модель рассматриваемого объекта, которая описывает структуру и определенные качественные и количественные закономерности его функционирования.

Данная модель может быть представлена в статической и динамической форме. При построении моделей должны быть учтены ограничения по минеральному сырью, капитальным и производственным затратам, по экологическим параметрам, объему производства (не более потребностей рынка). Все ограничения, кроме двух последних, будут удовлетворяться автоматически (при решении задачи оптимизации). Экологические параметры оцениваются отдельно для каждого технологического этапа производства.

Поэтапное получение металлов из рудных объектов можно изобразить с помощью ориентированных дуг (векторов), проходящих через вершины J_1, J_2, J_3 и J_4 (соответственно добычу руды, ее обогащение, получение промежуточного и конечного продуктов). Получение редких металлов из техногенных отходов можно аналогично представить с помощью ориентированных дуг, проходящих через вершины J_5 и J_6 , т.е. получение концентрата и металлов. Точка n отражает объемы производства металлоизделий, а вектора, проходящие через вершины J_7, J_8 и J_9 — области применения этих металлоизде-

лий в промышленности (рис. 2). Тогда падение объемов потребления металлоизделий в промышленности приведет к падению объемов их производства, что повлечет снижение спроса на металлы. В этом случае более устойчивыми к колебаниям спроса будут производства по извлечению металлов из золошлаковых отходов. Учитывая невысокие объемы потребления редких металлов, такие производства могут занять устойчивую рыночную нишу, дополнительно производя и цветные металлы. Поскольку в Российской Федерации прогнозируется рост внутреннего потребления редких и цветных металлов, такая разнообразная продукция (производимая в небольших объемах) будет всегда востребована.

Меньший уровень капитальных вложений и себестоимости, оценен-

ные ранее методом технологических цепочек, также подтверждают эффективность такого производства. Производство металлов по технологической цепочке из рудных месторождений требует больших капитальных и производственных затрат, которые возрастают на каждом этапе. Малое наукоемкое производство в условиях снижения спроса и, как следствие, падения цен на цветные и редкие металлы (коммерческие риски) будет более устойчиво к финансовым рискам, связанным с большими объемами инвестиций в проект ($K_{рудн.} > K_{техн.}, S_{рудн.} > S_{техн.}, C_{рудн.} > C_{техн.}, M_{рудн.} > M_{техн.}$). При этом спрос (D) на металлы может быть $-M_{техн.} \leq D \leq M_{рудн.}$.

Получаемая металлопродукция может быть востребована на машиностроительных и металлургических



Рис. 3. Модель влияния комплексного использования цветных и редких металлов, содержащихся в техногенных месторождениях на ресурсные циклы региона

Таблица 5
Геолого-экономическая оценка цветных и редких металлов

Категории запасов металлов	Запасы / ресурсы металлов	Наличие технологий извлечения	Область применения	Объемы потребления
экономические	балансовые	промышленные	широкая	большие
потенциально экономические	забалансовые	опытно-промышленные	узкая	малые
возможно экономические	ресурсы	лабораторные	в настоящее время нет	нет

предприятиях, выпускающих широкий спектр продукции. Ряд ценных металлов (таких как титан, цирконий, стронций, галлий, германий) может быть востребован и на внешних рынках. Прибыль от реализации металлов (Π_M) с учетом объемов продаж и условий продаж металлов определяется:

$$\Pi_M = V_1 \times C_1 + V_2 \times C_2 + V_n \times C_n) - Z, \quad (1)$$

где $V_1 \div V_n$ — годовые объемы реализации сортов металлов, т или кг; $C_1 \div C_n$ — сортовые цены за единицу продукции, руб.; Z — затраты на производство и реализацию металлов, руб. При этом прибыль — это целевая функция оптимизации извлечения металлов, а другие показатели — ее переменные параметры.

Кроме экономического эффекта следует учитывать также социально-экологический эффект, получаемый по данным проектам. Эти эффекты будут оказывать благоприятное воздействие на природные ресурсы и инновационное развитие региона (рис. 3).

В целом путем комбинирования на основе экономического и социально-экологического эффектов по проектам, выбираются объекты и методы их разработки, определяется продукция: концентраты металлов или металлы, которые будут производиться малыми наукоемкими предприятиями. Кроме того, определяются перспективные направления использования ценных цветных и редких металлов.

Оптимизация перспективных направлений использования ценных цветных и редких металлов проводится с помощью количественных критериев геолого-экономической оценки; в результате оценивается влияние проектов по извлечению металлов из техногенных отходов на природную среду и на решение проблем инновационного развития и диверсификации промышленности региона.

Геолого-экономическая оценка цветных и редких металлов, содержащихся в техногенных месторождениях может быть представлена в матричной форме (табл. 5).

Подобный подход основан на принципах рамочной классификации ООН «запасы / ресурсы». Последовательно оцениваются содержания исследуемых металлов в техногенных месторождениях, что позволяет оценить их

запасы (балансовые, забалансовые) и ресурсы, наличие технологий (промышленных, опытно-промышленных и лабораторных) извлечения металлов из техногенных месторождений, а также область применения и возможные объемы потребления ценных цветных и редких металлов. Ответы на

эти вопросы позволяют определить варианты использования металлов, основанные на международной классификации минерального сырья. Таким образом, согласно рамочной классификации ООН «запасы/ресурсы», металлы оцениваются по трем категориям запасов: экономической, потенциально экономической, и возможно (или условно) экономической.

Это позволяет оптимизировать варианты извлечения дефицитных и высоколиквидных металлов из комплексных рудных и угольных месторождений, а также из техногенных отходов металлургических и энергетических предприятий (рис. 4). Например, забалансовые запасы цветных и редких металлов (титана, циркония, стронция, ванадия, галлия, германия, иттрия и др.), содержащихся в углях или золошлаковых отходах углей и имеющих узкую область применения, могут быть оценены по категории экономических — при внедрении рентабельных промышленных технологий извлечения этих металлов и при больших объемах потребления металлов (формула (1)).

Дальнейшая экономическая оценка проектов предполагает следующее. Как указывалось выше, путем комбинирования на основе экономического и социально-экологического эффектов по проектам, должны выбираться перспективные объекты (комплексные рудные и угольные месторождения, а также техногенные отходы металлургических и энергетических предприятий) и рациональные методы их разработки, определяется продукция: концентраты металлов или

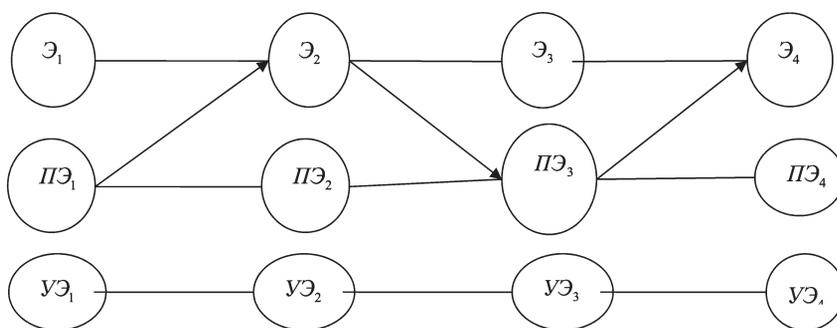


Рис. 4. Оценка использования цветных и редких металлов, содержащихся в комплексных рудных и угольных месторождениях, а также в их техногенных отходах с помощью квазиупорядоченного графа, подразделяющего запасы металлов на: экономические (Э), потенциально экономические (ПЭ) и условно экономические (УЭ) по 4 параметрам: наличию запасов и ресурсов металлов в углях и/или в их золо-шлаковых отходах (1), наличию технологий извлечения металлов (2), областям применения металлов (3), объемам потребления металлов (4)

металлы, которые будут производиться малыми наукоемкими предприятиями (рисунок 5). При этом основным критерием выбора будет прибыль от продажи этих продуктов с учетом социально-экологического эффекта в денежном эквиваленте.

Переработка техногенных отходов металлургических предприятий и энергетических предприятий ведет к формированию техногенного кластера. Развитие предприятий черной и цветной металлургии в РФ, прогнозируемое расширение выпуска высококачественных сталей и других металлоизделий, приведут к росту потребности во многих ценных цветных и редких металлов. Ряд цветных и редких металлов (особенно редкоземельные металлы) являются остродефицитными и в России, и в мире.

Именно поэтому необходимо оценить возможности их извлечения не только из рудных месторождений, но и из техногенных (один из перспективных источников — угли и отходы угольной продукции), что также позволит сократить импорт этих металлов и, возмож-

но, наладить экспорт ряда дефицитных металлов. Данный вариант развития угольной и металлургической отраслей промышленности позволит улучшить не только экономические, но также социальные и экологические показатели на региональном уровне с получением разнообразного мультипликативного эффекта.

Формирование техногенного кластера ведет к формированию экологического кластера. Экологический кластер можно рассматривать как совокупность предприятий и организаций, являющихся звеньями одной цепи производства, в основе деятельности которых лежат зеленые технологии. Зеленые технологии предполагают в первую очередь переработку техногенных отходов, а также мероприятия, направленные против загрязнения воды, воздуха, земельных и лесных ресурсов, т.е. они должны применяться во всех сферах промышленного производства [5]. Формирование экологического кластера ведет уже к формированию туристического кластера на особо охраняемых природных территориях (сокращение или прекращение разработки рудных месторождений).

Кроме того, следует отметить, что разработка техногенных месторождений требует внедрения инновационных технологий извлечения из промышленных отходов цветных и редких металлов. Само промышленное производство должно диверсифицироваться, что связано с выпуском новой продукции, интеграцией и образованием вертикальных и горизонтальных хозяйственных связей (экономических кластеров). При этом кроме металлов возможно и получение нерудной продукции — например, строительных материалов, не содержащих повышенные концентрации экологически вредных и токсичных металлов. Поэтому рациональные схемы эксплуатации техногенных месторождений должны разрабатываться на основе определения самого ценного компонента.

Таким образом, с учетом возможности получения существенного экономического и социально-экологического эффектов, масштабная разработка техногенных месторождений и извлечение из них ценных цветных и редких металлов может оказать значительное влияние на социально-экономическое и инновационное развитие горно-промышленных регионов.

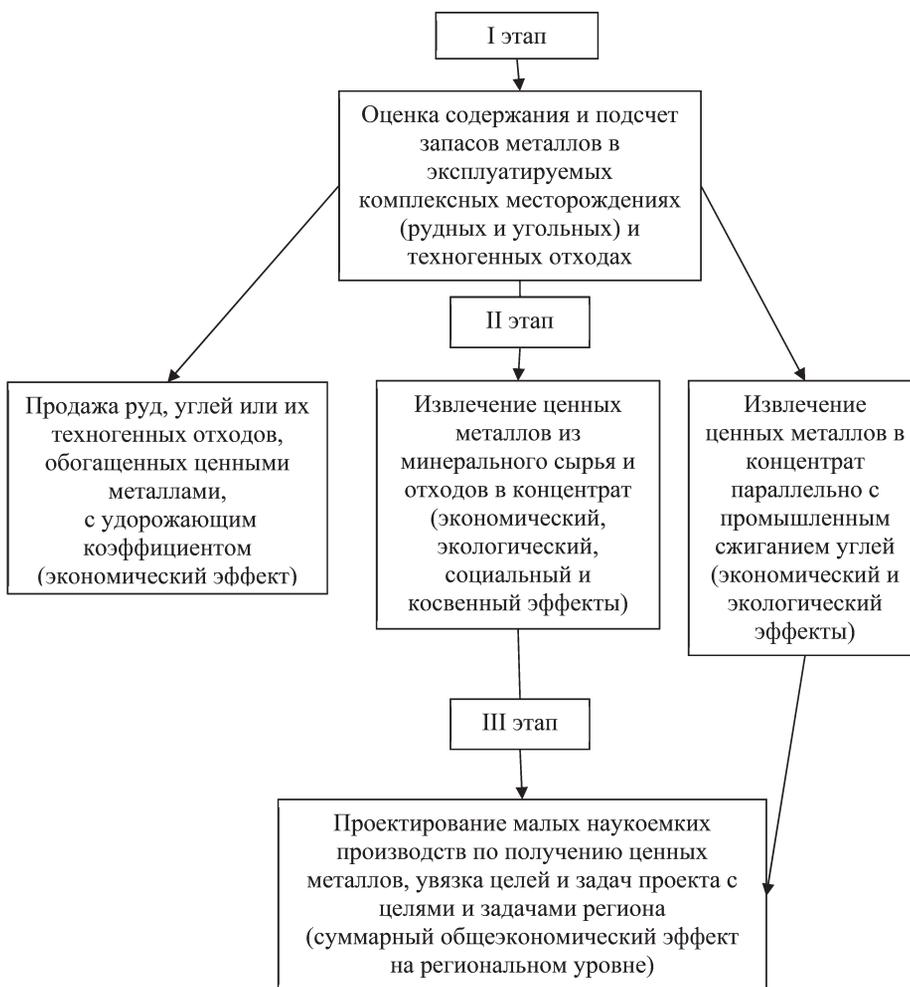


Рис. 5. Экономическая оценка ценных металлов в комплексных рудных и угольных месторождениях, а также в их техногенных отходах на прединвестиционном этапе (I), этапе технико-экономического обоснования (II), этапе технико-экономического проектирования (III): критерии выбора направлений использования металлов — приемлемая прибыль от реализации продукции (П), выручка от реализации продукции (В) и затраты по производству продукции (З) на конкретном этапе проекта — $P = B - Z$. с учетом социально-экологического эффекта — $P + \Delta_{\text{соц.-экол.}}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналитика: цветные металлы [Электронный ресурс] // Мировой рынок цветных металлов в поисках нового направления. РЗМ не оправдывают ожиданий URL: <http://www.metaltorg.ru/analytics/color/?id=684>. <http://www.metaltorg.ru/analytics/color/?id=668>. (дата обращения 19.05.2017).
2. Мировой рынок редкоземельных металлов [Электронный ресурс] // Данные ОАО «Соликамский магниевый завод». — URL: <http://www.cmmarket.ru/markets/rawold.html>. (дата обращения 20.08.2013).
3. Орлов, В.П. Минерально-сырьевые ресурсы и геополитика / В.П. Орлов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2011. — № 2. — С. 23–26.
4. Петров, И.М. Российский рынок редких металлов: пути развития / И.М. Петров // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 1. — С. 78–81.
5. Салихов, В.А. Некоторые особенности формирования техногенных и экологических кластеров (на примере Кемеровской области) / В.А. Салихов, Л.Н. Король // Экономика и предпринимательство. — 2017. — № 10 (ч. 2). — С. 271–274.
6. Салихов, В.А. Специфические особенности экономической оценки цветных и редких металлов, содержащихся в техногенных месторождениях / В.А. Салихов, О.С. Краснов // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 6. — С. 42–46.

7. Салихов, В.А. Экономическая оценка и комплексное использование попутных полезных компонентов углей и золошлаковых отходов углей (на примере Кемеровской области): монография / В.А. Салихов; НФИ КемГУ. — Новосибирск: Изд-во «Наука» СО РАН, 2013. — 224 с.
8. Токарь, О.В. Мировой рынок цинка: проблема дефицита и перспективы развития / О.В. Токарь // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 4. — С. 63–67.
9. Цветные перспективы импортозамещения // Металлургический бюллетень (информационно-аналитический журнал). — URL: <http://www.metbulletin.ru/a/26c> (дата обращения 11.08.2015).
10. Цветные перспективы импортозамещения // Металлургический бюллетень (информационно-аналитический журнал). — URL: <http://www.metbulletin.ru/a/26cf> (дата обращения 11.08.2015).
11. Цены на редкоземельные металлы. Динамика цен // ООО «ТДМ 96» — URL: <http://tdm96.ru> (дата обращения 21.03.2014).
12. Цены мирового рынка на металлы и сырье // Infogeo.ru — URL: www.infogeo.ru (дата обращения 20.11.2018 г.).

© Краснов О.С., Салихов В.А., Король Л.Н.

Краснов Олег Сергеевич // Okrasnov@vnigri.ru
Салихов Валерий Альбертович // Salihov-VA@yandex.ru
Король Леонид Николаевич // korol.lenya@yandex.ru

ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.75

Михайлов Ю.В. (МГРИ-РГГРУ)

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Газ и нефть, добытые методом гидроразрыва, содержат огромное количество примесей, которые не только повышают стоимость добычи, но и усложняют процесс дальнейшей обработки. Данная технология наносит колоссальный вред окружающей среде. Опасность представляет не только раствор сам по себе, но и соединения, которые поднимаются из недр земли в результате гидроразрыва, включая огромное количество метана. В местах добычи наблюдается гибель животных, птиц, рыбы, кипящие ручьи с метаном. Ядовитые продукты попадают в питьевую воду и воздух. У людей наблюдаются головные боли, потеря сознания, невропатия, астма, отравления, раковые заболевания и многие другие болезни. Добыча сланцевого газа и нефти способствует массовому загрязнению водных ресурсов и атмосферы, которые распространяются на трансграничные территории. Это может привести к глобальной катастрофе. **Ключевые слова:** гидроразрыв, сланцевые углеводороды (нефть, сланцевый газ), отравление наземных и подземных водных ресурсов (питьевой воды), отравление атмосферы, сейсмическая активность, глобальная катастрофа.

Mikhaylov Yu. V. (MGRI-RGGRU)

ON THE FEASIBILITY OF SHALE HYDROCARBONS

Gas and oil produced by hydraulic fracturing contain a huge amount of impurities, which not only increase the cost of production, but also complicate the process of further processing. This technology causes enormous damage to the environment.

*The danger is not only the solution itself, but also compounds that rise from the bowels of the earth as a result of hydraulic fracturing, including a huge amount of methane. In places of production there is death of animals, birds, fish, boiling streams with methane. Toxic products get into drinking water and air. People have headaches, loss of consciousness, neuropathy, asthma, poisoning, cancer and many other diseases. The production of shale gas and oil contributes to the massive pollution of water resources and the atmosphere, which spread to trans-boundary areas. This could lead to a global catastrophe. **Keywords:** hydraulic fracturing, shale hydrocarbons (oil, shale gas), poisoning of surface and underground water resources.*

Сланцевый газ (shale gas) — это вид топлива, альтернативный природному газу. Добывается он из месторождений с низкой насыщенностью углеводородами, расположенных в сланцевых осадочных породах земной коры, поэтому промышленная добыча возможна только при помощи гидроразрыва (фрекинга).

Такие газ и нефть содержат огромное количество примесей, которые не только повышают стоимость добычи, но и усложняют процесс дальнейшей обработки. То есть сжимать и сжигать сланцевый газ дороже, чем добытый традиционными методами. Сланцевые породы могут содержать от 30 до 70 % метана. Кроме того, сланцевая нефть отличается повышенной взрывоопасностью.

Выгодность разработки месторождений характеризуется показателем EROEI, который указывает, сколько энергии надо затратить, чтобы получить единицу топлива. На заре нефтяной эры в начале XX в. EROEI для нефти составлял 100:1. Это означало, что для добычи ста баррелей нефти надо было сжечь один баррель. К настоящему времени показатель EROEI опустился до значения 18:1.

По всему миру происходит освоение все менее выгодных месторождений. Раньше, если нефть не была

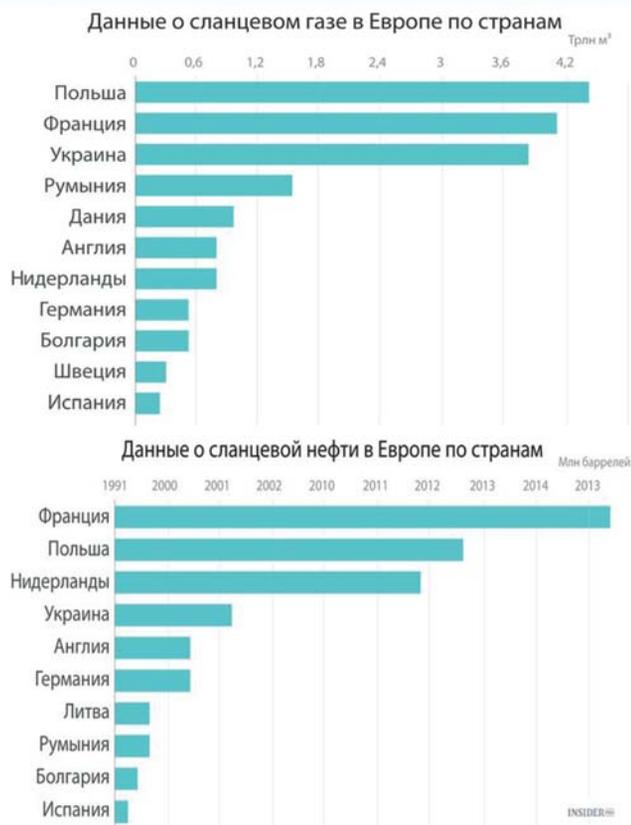


Рис. 1. Запасы сланцевых углеводородов в странах Европы

фонтаном, то такое месторождение никому было не интересно, сейчас все чаще приходится извлекать нефть на поверхность при помощи насосов [2].

В настоящей работе рассмотрена целесообразность добычи сланцевых углеводородов методом гидроразрыва (фрекинга) на примере Донецкого района (Доклад на Международной научно-практической конференции в г. Донецк 12–13.02.2016 г.) [4].

Положительные стороны применения:

- уменьшает зависимость от импорта газа;
- наличие в Европе значительного запаса сланцевых углеводородов: Украина — ~3,5 трлн м³ газа / 2001 млн баррелей; Польша — 4,5/2013; Франция 3,9/2013; Нидерланды — 1,0/2012; Румыния — 1,6/1995 (рис. 1);
- возможность разработки месторождений углеводородов с низкой насыщенностью полезных ископаемых из осадочных пород;
- создание новых рабочих мест, высокая зарплата;
- рост металлургического и химического производства.

Технология добычи сланцевых углеводородов

Добыча сланцевого газа предполагает горизонтальное бурение и гидроразрыв пласта. Горизонтальная скважина прокладывается через слой газоносного сланца. Затем внутрь скважины под давлением закачиваются десятки тысяч кубометров воды, песка и химикатов. В результате разрыва пласта газ по трещинам поступает в скважину и далее на поверхность (рис. 2). Данная технология наносит колоссальный вред окружающей среде. Независимые экологи подсчитали, что

специальный буровой раствор содержит сотни наименований химикатов: *ингибиторы коррозии, загустители, кислоты, биоциды, ингибиторы для контроля сланца, гелеобразователи*. Для каждого бурения нужно до **26 тыс. м³ раствора**.

Назначение некоторых химикатов:

- соляная кислота помогает растворять минералы;
- этиленгликоль борется с появлением отложений на стенках труб;
- изопропиловый спирт используется для увеличения вязкости жидкости;
- глютаральдегид борется с коррозией;
- легкие фракции нефти используются для минимизации трения;
- гуаровая камедь увеличивает вязкость раствора;
- пероксодисульфат аммония препятствует распаду гуаровой камеди;
- формамид препятствует коррозии;
- борная кислота поддерживает вязкость жидкости при высоких температурах;
- лимонная кислота используется для предотвращения осаждения металла;
- хлорид калия препятствует прохождению химических реакций между грунтом и жидкостью;
- карбонат натрия или калия используется для поддержания баланса кислот.

Десятки тонн раствора из сотен наименований химикатов смешиваются с грунтовыми водами и вызывают широчайший спектр непрогнозируемых негативных последствий. При этом разные нефтяные компании используют различные составы раствора. **Опасность представляет не только раствор сам по себе, но и соединения, которые поднимаются из недр земли в результате гидроразрыва**. В местах добычи наблюдается гибель животных, птиц, рыбы, кипящие ручьи с метаном. Домашние животные болеют, теряют шерсть, умирают. Ядовитые продукты попадают в питьевую воду и воздух. У американцев, которым не посчастливилось жить поблизости от буровых вышек, наблюдаются головные боли, потеря сознания, нейропатия, астма, отравления, раковые заболевания и многие другие болезни.

Отравленная питьевая вода становится непригодной для питья и может иметь цвет от обычного до черного. В США появилась новая забава *поджигать питьевую воду, текущую из-под крана*.

Это скорее исключение, чем правило. Большинству в такой ситуации реально страшно. *Природный газ не имеет запаха. Тот запах, который мы чувствуем, издают одоранты, специально подмешиваемые для выявления утечек*. Перспектива создать искру в доме, полном метана, заставляет перекрыть водопровод наглухо в такой ситуации. Бурение новых скважин для воды становится опасным. Можно нарваться на метан, который ищет выход на поверхность после гидроразрыва. Например, так произошло с фермером, который решил сделать себе новый колодец вместо отравленного. **Фонтан метана бил три дня**. По подсчетам специалистов в атмосферу ушло **84 тыс. м³ газа**.

Себестоимость добычи сланцевого газа составляет в США на 2012 г. не менее 150 долл. за 1000 м³ — втрое больше, чем себестоимость традиционного российского газа.

Это при том, что в Америке газоносные пласты залегают сравнительно неглубоко. По мнению экспертов себестоимость добычи сланцевого газа в таких странах, как Украина, Польша и Китай, будет в несколько раз выше, чем в США. Для экспорта же сланцевого газа в Европу из США потребуются затраты на сжижение и разжижение.

Для добычи сланцевого газа необходимо бурить гораздо больше скважин, так как срок их службы низок — 63 % мирового парка буровых установок расположены на территории США и Канады. И вся эта инфраструктура обеспечивает лишь 15...20 % от мирового производства нефти. Если просто принять, что буровые установки везде одинаковые, а месторождения все-таки разные, то получается, что сейчас США и Канада тратят в 3–4 раза больше материальных ресурсов на каждый добытый баррель нефти или полученный кубометр газа.

Европа отстает от США в освоении сланцевых запасов на 10 лет (отсутствие сверхсовременного, высокоточного оборудования высочайшей износостойкости, обслуживаемого высококвалифицированными рабочими, в том числе при сервисном обслуживании огромного количества техники и оборудования) (рис. 2, 3).

Со временем качество скважин и соответственно срок их эксплуатации падают ускоряющимися темпами. Такую ситуацию норвежец Рун Ликверн назвал «бегом красной королевы»: когда чтобы остаться на месте требуются все большие усилия. Таким образом, в США для поддержания объема добычи на постоянном уровне требуется все больше скважин и установок. Мало того, уже сейчас становится ясно, что *данные о запасах сланцевого*

газа и нефти в США были ради привлечения инвесторов завышены в несколько раз.

Для добычи сланцевого газа в США строить трубопроводы не имеет смысла, так как скважины слишком быстро вырабатывают свой ресурс. К тому же газодобывающие компании стремятся максимально быстро свернуть производство, чтобы пострадавшим местным жителям было сложнее взыскать материальный ущерб. Поэтому для транспортировки газа используется автотранспорт, что удорожает добычу еще сильнее.

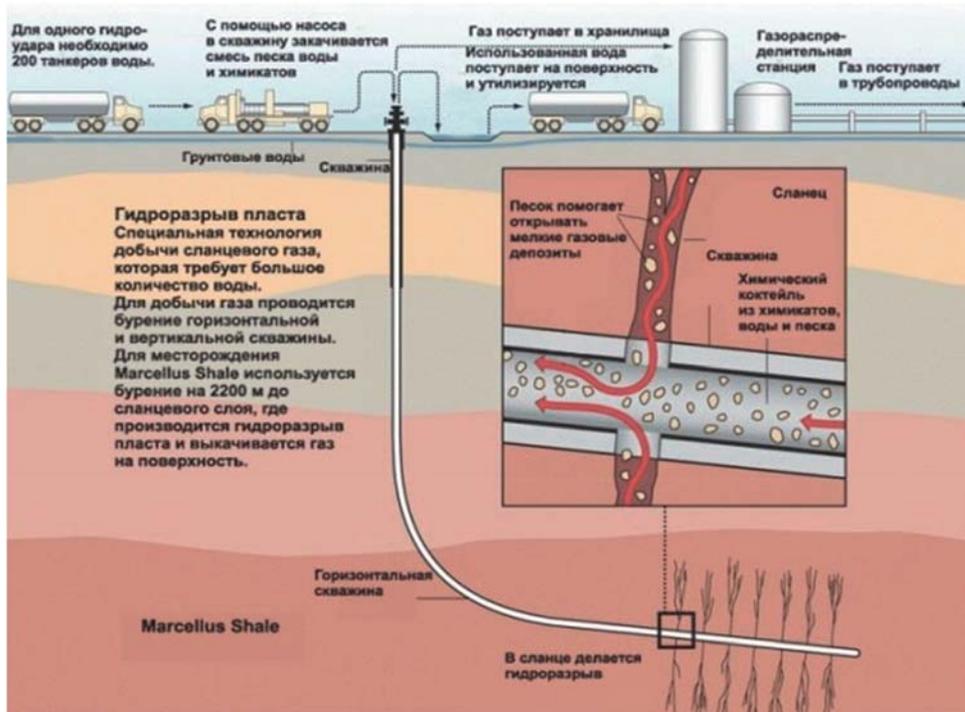


Рис. 2. Схема добычи сланцевого газа



Рис. 3. Добыча углеводородов в США методом гидроразрыва. Техника и необходимое оборудование

По составу сланцевый газ имеет намного больше примесей, поэтому требуются дополнительные затраты на его очистку. По оценкам ряда экспертов добыча сланцевого газа в США убыточна и дотируется государством.

Несмотря на созданный имидж, технологии добычи в США оставляют желать лучшего. Попутный газ активно сжигается.

Спутниковые наблюдения обнаружили гигантские выбросы метана в атмосферу в районе добычи сланцевого газа в США, ранее эти выбросы сильно недооценивались. Согласно распространенной теории считается, что увеличение метана в атмосфере является причиной парникового эффекта и глобального потепления. Выяснилось, что в США пустынный регион добычи сланцевого газа площадью 6500 км², получивший название «Четыре угла», выбрасывает в атмосферу 600 тыс. т чистого метана в год, что сопоставимо с величиной выбросов углекислого газа промышленностью Великобритании за год. Судя по фотографии США из космоса, факелы месторождения Bakken горят ярче агломерации Минеаполиса, но еще не дотягивают по яркости до Чикаго.

В целом добыча сланцевых нефти и газа сталкивается с рядом проблем, которые в самом ближайшем будущем могут начать оказывать на эту отрасль существенное влияние.

Во-первых, добыча рентабельна только при том условии, что добывается *одновременно и газ, и нефть*. А добыча только сланцевого газа — слишком дорогое удовольствие.

Во-вторых, если учесть стоимость газа на внутренних рынках США, можно заключить, что добыча сланцевых ископаемых находится на дотациях. При этом надо помнить, что в других странах добыча сланцевого газа будет *еще менее рентабельна*, чем в США.

В-третьих, добыча сланцевого газа и нефти может вызвать очень серьезные экологические проблемы в регионе добычи. Влияние может оказываться не только *на грунтовые воды, но и на сейсмическую активность*. Немалое число стран и даже штатов США ввели мораторий на добычу сланцевых нефти и газа на своей территории. В апреле 2014 г. американская семья из Техаса выиграла первое в истории США дело о негативных последствиях добычи сланцевого газа методом гидроразрыва пласта. Семья получит **2,92 млн долларов** от нефтяной компании Aruba Petroleum в качестве компенсации за загрязнение их участка (включая скважину с водой, которая сделалась непригодной для питья) и нанесение вреда здоровью. В октябре 2014 г. выяснилось, что подземные воды по всей *Калифорнии заражены в результате попадания в них миллиардов литров опасных для человека отходов при добыче сланцевого газа* (из письма, которое официальные лица штата отправили в агентство по охране окружающей среды США).

В связи с возможным ущербом для окружающей среды добыча сланцевого газа запрещена во Франции и Болгарии. Добыча сланцевого сырья запрещена или приостановлена также в Германии, Нидерландах, ряде штатов США.

Рентабельность промышленной добычи сланцевого газа имеет ярко выраженную привязку к экономике того

региона, где он добывается. Месторождения сланцевого газа обнаружены не только в Северной Америке, но и в Европе (в том числе и Восточной), Австралии, Индии, Китае. Однако промышленная разработка этих месторождений может оказаться затруднена из-за *густонаселенности (Индия, Китай), отсутствия транспортной инфраструктуры (Австралия) и строгих норм экологической безопасности (Европа)*. Есть разведанные месторождения сланцев и в России, самым крупным из которых является Ленинградское — часть масштабного Прибалтийского бассейна, но себестоимость газовых разработок заметно превышает стоимость добычи традиционного газа.

Пока еще рано судить о том, насколько большое влияние может оказать разработка сланцевых газа и нефти. По самым оптимистичным оценкам она незначительно *опустит цены на нефть и газ — до уровня нулевой рентабельности добычи сланцевого газа*. По другим оценкам, держащаяся на дотациях, разработка сланцевого газа скоро окончится совсем.

В 2014 г. разразился скандал в **Калифорнии** — выяснилось, что запасы сланцевой нефти месторождения **Монтерей** были серьезно переоценены, и что реальные запасы примерно в 25 раз ниже, чем предсказывалось ранее. Это привело к снижению общей оценки запасов нефти в США на 39 %. Данный инцидент может вызвать массовую переоценку сланцевых запасов по всему миру.

В сентябре 2014 г. японская компания Sumitomo была вынуждена полностью *свернуть масштабный проект по добыче сланцевой нефти в Техасе, рекордные убытки составили 1,6 млрд долл.* «Задача извлечения нефти и газа оказалась очень сложной», сообщают представители компании.

В 2010 г. Украина выдала лицензии на разведку сланцевого газа для Exxon Mobil и Shell.

В мае 2012 г. стали известны победители конкурса по разработке **Юзовской (Донецкая область)** и Олесской (Львовская) газовых площадей. Ими стали **Shell** и **Chevron**, соответственно. Ожидается, что промышленная добыча на этих участках начнется в 2018–2019 гг. 25 октября 2012 г. Shell начала бурение первой поисковой скважины газа уплотненных песчаников в Харьковской области. Соглашение между компанией Shell и «Надра Юзовская» о разделе продукции от добычи сланцевого газа на Юзовском участке в Харьковской и Донецкой областях было подписано 24 января 2013 г. в Давосе (Швейцария) при участии президента Украины.

В начале 2013 г. Украину захлестнула кампания против разработки сланцевого газа. Роль спускового крючка сыграло подписанное в январе соглашение о разделе прибыли (СРП) с голландско-британской компанией Royal Dutch Shell. Концерн будет разрабатывать месторождения на востоке страны преимущественно в Харьковской и Донецкой областях. Чиновники бодро отрапортовали об успешном подписании эпохального контракта, но люди почему-то «не поняли» всей глубины и степени заботы о них правительства. Совсем наоборот, сразу же пошли разговоры об опасности добычи сланцевого газа и ссылки на запреты

фрекинга во Франции, Великобритании, Румынии и других странах [5].

В ответ раздавались бодрые ответы об экономической независимости и необходимости разработки собственных углеводородов. И тут вдруг совершенно неожиданно оказалось, что сланцы уже бурят! Представители Shell утверждали, что работы пока ведутся только вблизи с. Веселое Харьковской области. Причем ушлые блогеры раскопали, что дорогу из бетонных плит к вышке зачем-то проложили не от ближайшей станции, а от более дальней, и расстояние составило семь километров вместо двух! Тут же последовал логичный вывод, что это было сделано специально, чтобы скрыть от местных жителей масштаб проводимых работ.

Однако самый большой шум поднялся не из-за с. Веселое, а в связи с бурением у с. Яремово, расположенного почти на границе Харьковской и Донецкой областей. Скважина находится почти на берегу Северского Донца, в восьми километрах от заповедного Святогорья с его Лаврой. Вышка здесь работает уже достаточно давно, как минимум с лета. Местные жители уверяют, что вода у них в колодцах совершенно непригодна для питья.

Экологи и активисты не особо доверяют бурильщикам, напоминая, что в нескольких сотнях метров — Северский Донец. Крупнейшая река Восточной Украины снабжает водой расположенный по близости Изюм, Донецк и многие другие города региона. Из колодцев в селе и того самого «водоема» при буровой были взяты образцы воды на экспертизу. В результатах в анализах были обнаружены свинец, висмут и большое количество других минеральных веществ (солей, оксидов, оснований).

По данным геолога Дэвида Хьюза за 2012 г. затраты корпораций на бурение более чем 7 тыс. скважин в США составили 42 млрд долл. Прибыль от продажи добытого сланцевого газа — 32,5 млрд долл. BP заявила об убытках в 5 млрд долл., английская BG Group потеряла 1,3 млрд долл., но хуже всего бывшему лидеру индустрии — Chesapeake Energy, который оказался на грани банкротства.

Техасский консультант-геолог А. Берман заявил: «Сланцевый газ обречен на коммерческий провал. Его себестоимость в 5 раз выше, чем у добытого традиционным путем. Десять лет бурения показали, что корпорации терпят огромные убытки. Почему компании продолжают добычу, на которой теряют деньги? Я — геолог, а не психиатр, чтобы ответить на этот вопрос».

Профессор Блумсбургского университета США Уэнди Ли: «Страны, где собираются добывать сланцевый газ, ждет тоже самое, что произошло у нас. Сначала — короткий бум, какие-то новые рабочие места, но когда пузырь лопнет, останется плохая экология и разрушенная инфраструктура как в Димокке. Также будет и в Латвии, и в Ирландии, и на Украине. Люди столкнутся с еще большими проблемами, чем были у них до того, как пришел газ» [1, 8].

По мнению экспертов в 2013 г. в США не осталось ни одной прибыльной скважины, добывающей сланцевый газ [3, 7].

События в сланцевой отрасли наглядно показывают — преобладающая модель мировой экономики на современной стадии развития международного сообщества нацелена только на рыночное развитие «элитных» стран (например, США) и концепцию саморегулирования международного рынка (включая в принципе саморегуляцию «бизнес» — «государство» конкретных отраслей промышленности, отдельных видов экономической деятельности и природопользования внутри регионов и стран) на региональном и международном уровнях, направленного на реализацию практически только научно-технических, финансовых и других экономических ценностей производящей экономики (в центре внимания которых, безусловно, стоит прибыль, исчисляемая в денежном эквиваленте), которые часто приводят к отрицанию элементарных требований технической безопасности, моральных и правовых ценностей, включая экологические ценности собственной и иных стран [2].

При этом идеи экономической, энергетической и промышленной глобализации и принципы международной экономической, энергетической, продовольственной, промышленной и экологической безопасности, а также основополагающие постулаты устойчивого развития, национальной безопасности конкретных государств находятся в сложной и противоречивой взаимосвязи. В этой связи особую актуальность приобретает объективный анализ опасности вводимых техногенных объектов с точки зрения действующего собственного законодательства по охране окружающей среды и разработанных международных концепций, руководящих материалов и других договоров, соглашений в этой сфере [6].

Выводы:

Основные принципы, препятствующие экономической и экологической целесообразности добычи сланцевых углеводородов.

— Европа отстает от США в освоении сланцевых запасов на 10 лет (отсутствие сверхсовременного, высокоточного оборудования высочайшей износостойкости, обслуживаемого высококвалифицированными рабочими, в том числе при сервисном обслуживании).

— Недостаточная разведанность месторождений способствует неоправданности оптимистичных прогнозов.

— Сложность при добыче сланцевого газа — низкая проницаемость газосодержащих сланцевых пластов (окаменевшая глина с измельченным песком), вследствие чего дебит традиционной вертикальной скважины очень небольшой, поэтому и разработка месторождения становится экономически невыгодной.

— Большие затраты на очистку газа по сравнению с традиционным газом (содержание большого количества примесей — сжимать и сжигать сланцевый газ дороже, чем добытый традиционными методами!) резко увеличивают затраты и делают проблематичным целесообразность его добычи.

— Повышенная взрывоопасность сланцевой нефти.

— Высокое содержание метана во вмещающих породах (30...70 %) — прорыв метана в атмосферу после

гидровзрыва; загрязнение грунтовых вод; высокая сейсмическая активность.

— Пониженная энергетическая рентабельность сланцевых углеводородов: *EROEI для нефти в 2005...2009 гг. составлял 100:1, в настоящее время — 18:1.*

— Промышленная разработка сланцевого газа рентабельна в малонаселенных территориях, характерных для США.

— Сланцевая добыча рентабельна при условии одновременной добычи нефти и газа; рентабельность промышленной добычи сланцевого газа имеет ярко выраженную привязку к экономике того региона, где он добывается.

— Дороговизна бурения скважин нетрадиционного газа в 3...4 раза дороже.

— Необходимость разработки и соблюдения более строгих, чем в США, нормативных актов экологической безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вред добычи сланцевого газа для экологии — Svargaman. Опубликовано Svargaman. Ноябрь 4, 2013 в Международные дела. <http://voprosik.net/vred-dobychi-slancevogo-gaza-dlya-ekologii>.
2. Геращенко, И.О. Вестник Российской Академии Наук / И.О. Геращенко, А.Л. Лapidус. — 2014. — Т. 84. — № 5. — С. 400–433.
3. Годовой Прогноз Развития Энергетики 2012. Июнь 2012. Управление энергетической информации США. Офис Международного энергетического анализа. Министерство энергетики США, Вашингтон, округ Колумбия.
4. Михайлов, Ю.В. Глобальные риски и экологические последствия применения технологии добычи сланцевых углеводородов в Донецком регионе / Ю.В. Михайлов. Междунар. науч.-практ. конф., Донецк 12–13.02.2016 г.
5. Соловьянов, А. Добыча сланцевого газа в Донбассе грозит РФ эко-катастрофой. Интервью / А. Соловьянов. — Москва, Третий Рим, 12 октября 2014.
6. Чиндяйкин, Н. Скрытые угрозы. Грязные сланцы / Н. Чиндяйкин. — ТВ «Звезда», 23.09.2018 г.
7. Джеффи, А.М. Сланцевый газ потрясет мир // The Wall Street Journal / А.М. Джеффи. — USA MAY 10, 2010.
8. Nessebar, D. Добыча сланцевого газа: последствия и проблемы, новости и общество, экономика / D. Nessebar. — December 4, 2014. — ru: <http://fb.ru/article/159815/dobyicha-slantsevogo-gaza-posledstviya-i-problemyi>.

© Михайлов Ю.В., 2019

Михайлов Юрий Васильевич // mikhaylov_44@mail.ru

УДК 631.124

Надеждина Ю.Ю. (Национальный исследовательский Томский политехнический университет)

ЗАБОЛАЧИВАНИЕ ПО ТРАССЕ ЭЛЕГЕСТ-КЫЗЫЛ-КУРАГИНО

Данная статья посвящена анализу факторов, способствующих развитию процесса заболачивания вдоль проектируемой железной дороги Элегест-Кызыл-Курагино. Территория исследований является малоизученной, в связи с этим имеется необходимость в изучении природных условий. В работе анализируются факторы, способствующие развитию заболачивания, такие как гидрология района исследований, суммарное количество выпавших осадков за период времени, геоморфология и рельеф. На основании вынесенных на карту заболоченных участ-

*ков, рассчитан коэффициент пораженности. В заключение сделан вывод о необходимости дальнейших исследований других факторов районирования и сопоставлении результатов исследований. **Ключевые слова:** Кызыл, Курагино, железная дорога, районирование, заболачивание, инженерно-геологические процессы, инженерно-геологические изыскания, высотные отметки, гидрология.*

Nadezhkina Yu.Yu. (National Research Tomsk Polytechnic University)

WATERLOGGING ON THE ROAD ELEGEST-KIZYL-KURAGINO

*This article is devoted to the analysis of factors contributing to the development of the bogging process along the designed Elegest-Kyzyl-Kuragino railway. The research area is poorly studied, and therefore there is a need to study the natural conditions. The factors contributing to the development of waterlogging are analyzed, including the hydrology of the study area, the total amount of precipitation over a period of time, geomorphology and relief. On the basis of the swamps introduced to the map, the affected areas was calculated. In conclusion, the conclusion is made about the need for further studies of other factors of zoning and matching of research results. **Keywords:** Kyzyl, Kuragino, railway, zoning, waterlogging, engineering and geological processes, engineering and geological surveys, altitude, hydrology.*

Введение

В связи с активным освоением новых земель построение карт инженерно-геологического районирования на сегодняшний день актуальная задача. Данной теме посвящено множество работ современных исследователей: так, например, Мартинеса-Граньи А. (2013 г.) [12], Фи Х.Т. (2013 г.) [11], Даниэля Тоблера Д., Койзена Х.-Р. (2013 г.) [13] и др. Вышеуказанные работы так или иначе отражают причинно-следственную связь возникновения и распространения опасных геологических и инженерно-геологических процессов для различных территорий. При районировании важно учитывать цель освоения территории, характер сооружений, динамику природных условий.

Район проектируемой железной дороги Элегест-Кызыл-Курагино является малоизученным и сложным с точки зрения протяженности объекта, неоднородности природных условий. Безопасность протяженных объектов во многом определяется и зависит от места их расположения относительно распространения геологических структур, геологических процессов и других факторов [1]. В данной работе остановимся лишь на одном процессе — заболачивание территории.

Цель работы заключается в построении карт развития заболоченных территорий с выделением наиболее благоприятных и неблагоприятных участков для использования при принятии решений по планированию территорий.

Задачи, которые необходимо выполнить для достижения поставленной цели:

1. Собрать необходимые материалы.
2. Проанализировать гидрологические, геоморфологические, геологические условия района и их влияние на развитие процесса заболачивания.

3. Рассчитать коэффициент пораженности района исследований болотами.

Методика

Для решения поставленной цели и задач были собраны и обобщены имеющиеся материалы, в том числе фондовые. Проведен обзор специальной литературы, соответствующей тематике исследования. За основу при построении карты заболоченности были взяты топографическая и геологическая карты из общедоступных источников, а также инженерно-технический отчет «Инженерные изыскания под строительство железной дороги Элегест-Кызыл-Курагино». Масштаб карты выбирался с учетом удобства работы с картой и наглядности отображения информации на ней, в результате принято решение использовать и строить карты в масштабе 1:1 000 000. Для оценки процесса заболачивания в системе автоматизированного проектирования AutoCAD были оцифрованы необходимые элементы: высотные отметки рельефа, экзогенные процессы, гидрология, растительность, населенные пункты и т.д.

Основная часть

Территория исследований весьма обширная, в связи с этим железная дорога пересекает множество форм рельефа. По территории Красноярского края железная дорога приурочена к Минусинской впадине Минусинского прогиба. Приграничная территория двух регионов разделена Западным Саяном с разносопрягающимися хребтами, разделенными впадинами. Высотные отметки достигают 2700 м [4]. Запроектированная конечная станция «Кызыл» по схеме структурно-геологического районирования приурочена к Тувинскому прогибу [10].

В разрезе выделяются 2 структурных этажа: нижний — сложно дислоцированный, из метаморфизованных отложений нижнего палеозоя и верхний — сложенный слабодислоцированными неметаморфизованными отложениями верхнего силура и девона. Верхний этаж от нижнего отделяется с угловым несогласием из-за перерыва в осадконакоплении.

Разрывные нарушения в районе работ имеют широкое распространение. Проектируемую трассу, проходящую с севера на юг, они пересекают в субширотном и северо-восточном направлениях [10].

Геологическое строение района исследований представлено кембрийскими, девонскими и четвертичными отложениями.

Кембрийская система представлена нижним и средним отделами. Нижний отдел представлен нижнемонокской свитой и сложен диабазами, диабазовыми порфиритами, спилитами, туфопесчаниками и др. Мощность нижнемонокской свиты достигает не менее 2 км. Средний отдел представлен верхней и нижней подсвитами амьельской свиты, сложен метаморфизованными песчаниками и метаморфическими сланцами, мощность достигает 2,5 км.

Девонская система представлена нижним и средним нерасчлененными отделами быскарской серии. Отложения представлены в основном кислыми эффузивами: порфирами, альбитофирами, туфолавами, туфами и

другими, в подчиненном количестве содержатся осадочные породы. Мощность составляет порядка 2–2,5 км.

Отложения четвертичной системы представлены нижним и средним отделами и пользуются весьма широким распространением, представлены болотными, аллювиальными, делювиальными, озерными и элювиальными отложениями.

Гидрогеологические условия являются весьма сложными и в связи с этим выделяется разнообразие подземных вод как по условиям залегания, так и по составу. Выделяются следующие водоносные комплексы [2]:

- четвертичных отложений;
- терригенно-карбонатно-вулканогенных образований кембрия;
- вулканогенно-терригенных образований ордовика-девона;
- подземные воды зон трещиноватости разновозрастных интрузий;
- подземные воды зон тектонических нарушений.

Из современных геологических процессов следует отметить развитие заболоченных территорий.

Согласно общей инженерно-геологической классификации процессов и явлений заболачивание относится к геологическим процессам, связанным с деятельностью подземных и поверхностных вод. Условиями развития процесса заболачивания являются избыточное увлажнение грунтов, западинный рельеф. К основным факторам, способствующим развитию процесса заболачивания относятся: климат, рельеф, литология, гидрогеология и гидрология. Процесс заболачивания возможен при действии одного фактора или нескольких [2].

В данной работе рассмотрены и проанализированы три фактора:

1. Климат.
2. Рельеф поверхности и геоморфологические условия.
3. Гидрология.

Климат. Благоприятными климатическими условиями для развития болот являются избыточное увлажнение и недостаточное испарение. Для оценки тренда в колебаниях осадков и, следовательно, сохранения условий существования болот и заболоченных земель, нами проводился анализ данных по ближайшим к планируемой железной дороге метеостанциям, расположение которых показано на рис. 5.

Анализовались данные за период с 2014 по 2018 г. Проанализировано суммарное количество выпавших осадков (рис. 1).

На диаграммы нанесены суммарные количества осадков за выделенный период времени, а также нанесены линии тренда (рис. 1). На всех диаграммах линия тренда возрастающая, однако следует отметить, что на диаграммах (рис. 1–4. Ол. речка и 6. Туран) за последние два года количество осадков уменьшилось и, скорее всего, данный тренд будет расти. На диаграмме (рис. 1–5. Нижнеуссинское) видим, что в 2018 г. осадков выпало значительно меньше, чем в предыдущем, но этот спад следует за непрерывным ростом, поэтому сложно предположить, что количество осадков будет

уменьшаться и дальше, вероятней всего — это климатическая аномалия.

Исходя из анализа диаграмм, можно сделать вывод, что недостатка в увлажненности территории исследований нет. В связи с этим климатический фактор будет способствовать развитию процесса заболачивания или, как минимум, сохранению имеющейся ситуации.

Рельеф поверхности и геоморфологические условия. Рельеф поверхности и геоморфологические условия района исследований характеризуются большим разнообразием. Современный облик поверхности района исследований формировался в течение позднего неогенового и четвертичного периодов. К северной части района исследований приурочены палеозойские и позднедокембрийские складчатые сооружения, которые имеют горный рельеф с унаследованными межгорными впадинами. Во второй половине неогена новейшие тектонические движения сформировали современный горный рельеф **Минусинских** межгорных котловин.

В рассматриваемую территорию входит система межгорных котловин Минусинской котловины: **Южно-**

Минусинская, Сыдо-Ербинская, Средне-Минусинская и Северо-Минусинская, с юга котловины ограничены склонами Западного Саяна. Поверхность межгорных котловин представляет собой расчлененные лесостепные и степные равнины, обрамленные горные хребты.

Северо-Минусинская котловина по рельефу делится на две части: северную — равнинную и южную — холмисто-куэстовую. Рельеф Средне-Минусинской котловины схож с Северо-Минусинской. Имеет аналогичное деление на северную лесостепную равнину и южную — холмисто-куэстовую степную часть. Высоты колеблются от 200 до 700 м.

Долины наиболее крупных рек (Кизира, Казыра) хорошо разработаны, присутствует комплекс аккумулятивных надпойменных террас (I, II, III и IV порядка). Долины сменяются с широкой на узкую, где русло проложено в коренных породах с большим количеством порогов и перекатов.

В **Сыдо-Ербинской и Южно-Минусинской котловинах** также развиты водораздельные пространства, разбивающиеся на озеро-аллювиальных отложениях.

Абсолютные высоты колеблются в пределах от 360 до 450 м. Пространства заняты бугристо-дюнными песками, которые чаще зарастают сосновыми борами.

Западный Саян (северный склон) характеризуется абсолютными отметками от 1000 до 1800 м. Здесь наблюдается выположенность водоразделов и контраст с глубокими скалистыми долинами рек. Покровные отложения в горных районах слабо развиты и представлены элювиально-делювиальными образованиями. При переходе от горных обрамлений к равнинам межгорных котловин меняется резко характер рельефа. Переход обозначен изменениями гидросети и присутствием гипсометрического уступа.

В пределах северо-западной части Западно-Саянского хребта рельеф связан с деятельностью средневерхнеплейстоценовых **ледников**. Деятельность ледников привела к образованию слабосхолмленного моренного рельефа, встречаются моренноподпрудные озера.

К южному склону Западного Саяна примыкает

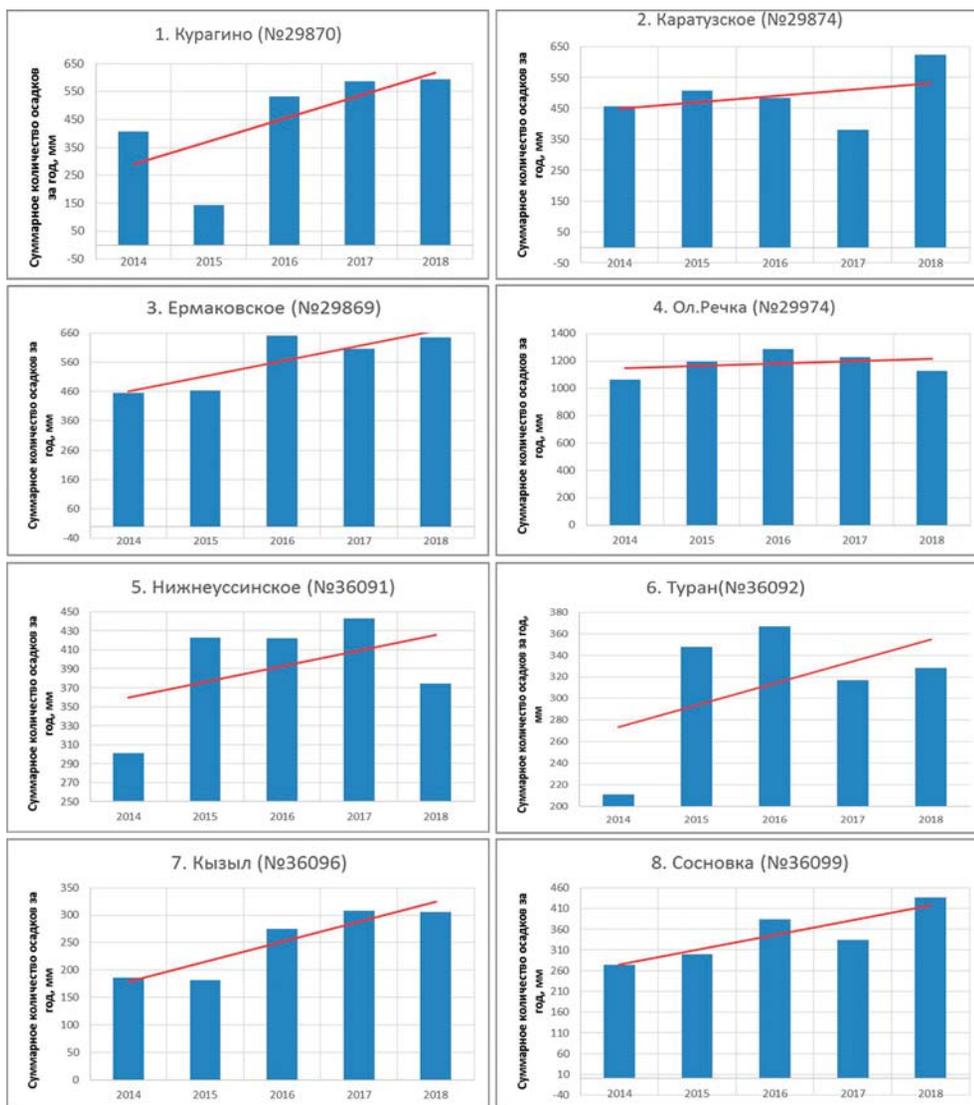


Рис. 1. Суммарное количество осадков по метеостанциям за период 2014–2018 гг.

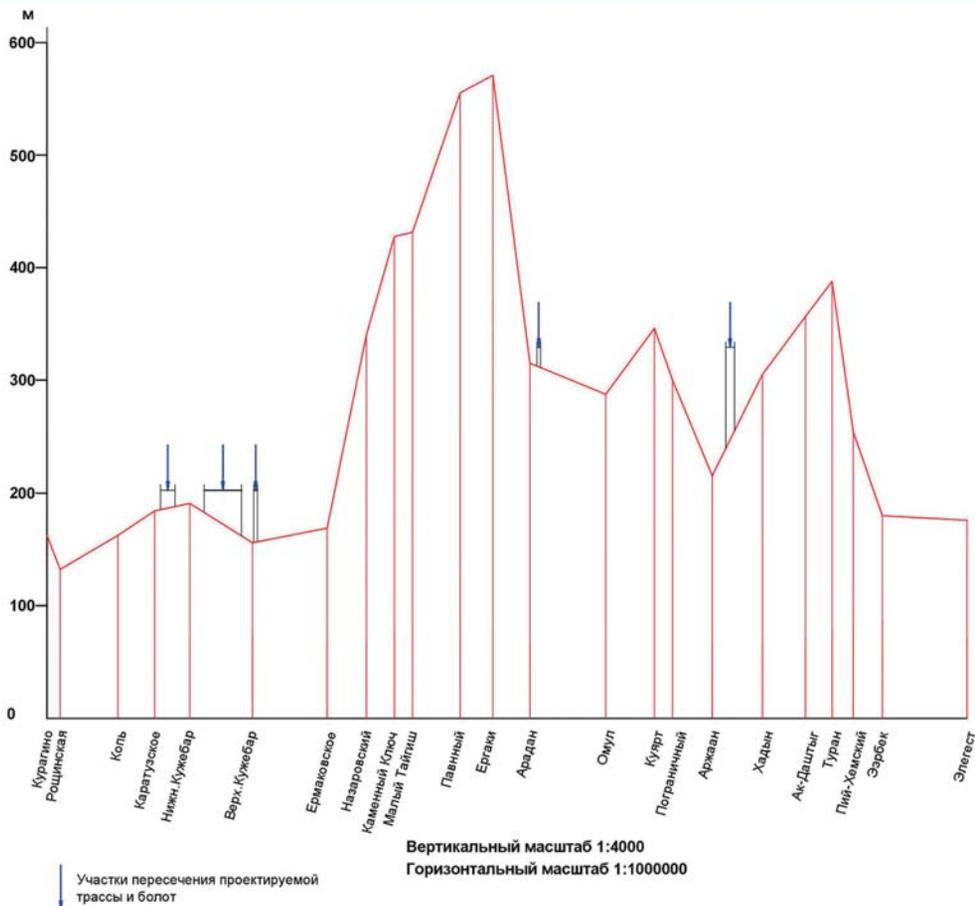


Рис. 2. Продольный профиль рельефа по линии проектируемой железной дороги

Алашское плато. Южные хребты Западного Саяна — Саянский, Хемчикский и Куртушибинский имеют северо-восточное простираие [4].

Вдоль горной системы Западного Саяна расположена вытянутая в широтном направлении система **Тувинских впадин**, которая характеризуется холмисто-мелкосопочным рельефом с отдельными понижениями [4].

Молодые полигенетические **аккумулятивные** равнины почти повсеместно окаймляются наклонными предгорными равнинами. Большая часть равнин занята древними аллювиальными террасами крупных рек, конусами выноса временных водотоков [4].

Рельеф, созданный глубинной и боковой эрозией рек, возник в неоген-четвертичное время, развит повсеместно вдоль бортов речных долин. Представлен эрозийными склонами с обрывистыми уступами высотой до 25 м. Склоны покрыты делювиально-коллювиальными отложениями [5].

Далее рельеф подвергся действию факторов денудации: морозному и физическому выветриванию, солифлюкционным процессам и эрозии. В долинах рек,

впадинах сформировались аккумулятивные равнины. В этот же период образовались различные формы эоловой аккумуляции. Песчаные отложения закрепляются растительностью, что говорит об увлажнении климата и подтверждается анализом климатического фактора. Следует отметить, что описываемая территория относится к району повышенной сейсмичности. Исходная сейсмичность района по карте ОСР-2016В составляет 8 баллов. Повышенная сейсмичность говорит о том, что подъем района продолжается в настоящее время. Современная тектоническая структура района исследований — сводово-глыбовая, в рельефе выражается системой хребтов и разделяющих межгорных впадин [4].

Геоморфологические условия района исследований имеют сложный характер. Для визуализации условий были построены продольный профиль вдоль проектируемой железной дороги (рис. 2), карта высотных отметок (рис. 3).

Наглядно видны круглые значительные по амплитуде перепады высот. Анализ рельефа поверхности и геоморфологических условий позволяет сделать вывод, что на исследуемой территории имеются все эле-



Рис. 3. Характерная растительность (А.Г. Разумов, 2017 г.)

менты: широкие поймы рек, выравненные водоразделы и пологие делювиальные склоны, необходимые для формирования болот и заболоченных территорий [3]. Широкие поймы с меандрирующими руслами и незначительными продольными уклонами и пологие денудационные склоны в основном характерны для северной и северо-западной частей района исследований, где сосредоточено максимальное количество водотоков, также данный элемент характерен и для южной части района исследований. Выровненные водоразделы при отсутствии или слабом дренировании поверхности характерны также и для центральной части района исследований.

Гидрология. Район исследований имеет весьма развитую речную сеть с большим количеством рек как в равнинной части, так и в горной (рис. 4). Реки предгорной равнинной части имеют широкие поймы и меандрирующие русла, что является благоприятным условием для развития заболачивания [3]. В районе с высотами от 2000 м, реки характеризуются интенсив-

ным, бурным течением, заиливание дна маловероятно, как следствие, заболачивание тоже маловероятно. Данная территория является неблагоприятной для развития процесса заболачивания, т.к. имеется большое расчленение и в связи с этим улучшается дренирование поверхностных вод с поверхности.

На карту вынесены заболоченные территории. По имеющимся данным рассчитан коэффициент заболоченности территории:

$$K_6 = \frac{S_b}{S_m} = \frac{103,38}{3939,67} = 0,026,$$

где K_6 — коэффициент заболоченности территории, S_b — суммарная площадь болот, S_m — площадь изучаемой территории.

Коэффициент заболоченности территории равен 0,026 (м-б карты 1:000 000), по степени пораженности территория является слабой [6]. При рекогносцировочных исследованиях была встречена характерная болотная растительность в районах с. Копь, Каратузское, на удаленном расстоянии от уже сформировавшихся болот (рис. 3). Процесс развития болот сопровождается появлением характерной растительности и затем накоплением остатков растительного происхождения [6].

Результаты

Условно территория проектируемой железной дороги делится на три зоны (рис. 4):

1. Высотные отметки до 1200 м.
2. Высотные отметки от 1300 до 1900 м.
3. Высотные отметки от 2000 до 2500 м.

Первая зона с высотами до 1200 м представлена двумя территориально разобщенными районами. Первый район на территории Красноярского края большей частью приурочен к Минусинской впадине Южно-Минусинского прогиба, второй район — на территории Республики Тыва — к Тувинскому прогибу.

Вторая зона с высотными отметками до 1900 м также представлена двумя районами в приграничной зоне Западных Саян и Минусинского прогиба и второй — Саяно-Тувинский прогиб, третья зона с высотными отметками до 2500 м приурочена к центральной части горно-складчатой системы Западного Саяна (рис. 4, 5).

Наиболее благоприятными для развития процесса заболачивания являются: первая зона с высотными отметками от 400 до 1200 и вторая с отметками до 1900 м. В данных зонах сосредоточено наибольшее количество болот на сегодняшний день и, как следствие, торфов на глубинах от 2,5 до 4,1 м. Торф характеризуется избыточной влажностью от 790,9 до 1430,6 % и степенью разложения от 23,2 до 35,7 % [9]. По степени пораженности вся территория характеризуется как слабая ($K_6=0,026$). Увеличение количества осадков с каждым годом в среднем составило за период с 2014 по 2018 г. 135 мм (рис. 1), что ведет к избыточному увлажнению и повышает возможность развития заболоченных территорий в первой и второй зонах (рис. 4). Рассматриваемый район имеет разветвленную речную сеть с множеством полноводных крупных рек (Казыр,

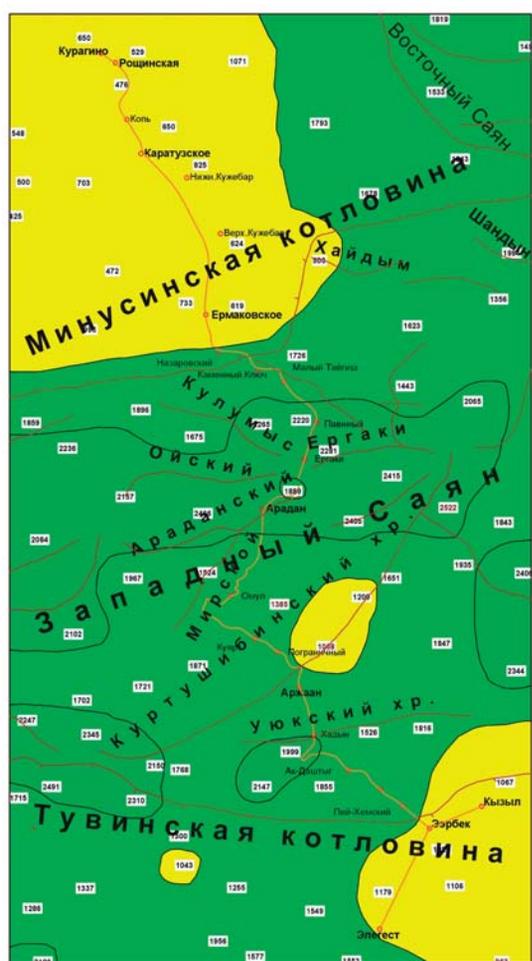


Рис. 4. Выделение зон по высотным отметкам. М-Б 1: 1 000 000

Туба, Амыл, Верхний Енисей и др.), а также маленьких. Увеличение количества осадков сказывается на гидрологическом режиме рек, что может привести к затоплению пойм рек, тем самым сформировав новые заболоченные участки. Заболоченные участки принято рассматривать как начальную стадию развития болот [6]. Формирование характерной болотной растительности и накопление ее остатков при отмирании

говорит о том, что заболоченные участки переходят в болота (рис. 3). Строительство железной дороги может изменить ситуацию по следующим причинам: возможного затруднения стока поверхностных вод, возведения сопутствующих инженерных сооружений и коммуникаций.

Заключе́ние

В работе проанализирован процесс заболачивания вдоль проектируемой железной дороги и факторы, способствующие его развитию. В настоящее время все факторы (климат, рельеф поверхности, геоморфологические условия, гидрология) оказывают воздействие на развитие заболачивания. Также проанализированы высотные отметки района с учетом приуроченности к геологическим структурам, дана количественная оценка степени пораженности территории процессом заболачивания (посчитан коэффициент пораженности).

Итогом данной работы стала карта гидрологических условий и болот (рис. 5). На карту нанесена гидрология (главные и второстепенные реки), основные элементы рельефа, высотные отметки, также выделены участки развития болот и заболоченных территорий, непригодные для использования при планировании территории. Для принятия более обоснованных решений при планировании территории необходимо расширить перечень анализируемых факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быкова, Н.М. Системный подход к оценке и учету геодеформационных воздействий на протяженные технические объекты: автореф. дисс. ... д.т.н.: 05.13.01 / Н.М. Быкова. — Братск, 2009. — 52 с.
2. Геология СССР. Геологическое описание / Под ред. П.Я. Антропова. — Т. 15. — Красноярский край. Ч. 1. — Москва, 1961. — 57–474 с.
3. Гидрогеология СССР / Под ред. А.В. Сидоренко. — Т. XVIII. — Красноярский край, Тувинская АССР. — М.: Недра, 1972. — 479 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-46. — Кызыл. Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. — 349 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-46. — Абакан. Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. — 391 с.
6. Емельянова, Т.Я. Инженерная геодинамика: Уч. пособие / Т.Я. Емельянова. — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 134 с.
7. Инженерно-технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий «Элегест-Кызыл-Курагино». — 2017. — 206 с.
8. Клиткин, К.А. Тектоника Центральной части Тувинского прогиба: труды геологического института / Под. ред. Н.С. Шатского / К.А. Клиткин. — М.: Госгортехиздат, 1960. — 135 с.
9. Ломтадзе, В.Д. Инженерная геодинамика / Под ред. К.А. Клиткина / В.Д. Ломтадзе. — Л.: Недра, 1977. — 479 с.
10. Тектоника центральной части Тувинского прогиба. Тр. геологического института. — Вып. 36. — ГОСГОРТЕХИЗДАТ. — 135 с.
11. Фи, Х.Т. Прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в г. Ханой (Вьетнам) / Х.Т. Фи, Л.А. Строкова // Изв. Томского политехнического университета. — 2013. — № 1. — Т. 323. — С. 161–167.
12. Martínez-Graña, A. Engineering Geology Maps for Planning and Management of Natural Parks: «Las Batuecas-Sierra de Francia» and «Quilamas» (Central Spanish System, Salamanca, Spain) / A. Martínez-Graña, J., Luis Goy, C. Zazo, M. Yenes // Geosciences. — 2013. — March.
13. Tobler D. Hazard Zoning in Areas with Major Deep-Seated Landslides: Case Study from Switzerland / D. Tobler, H.-R. Keusen, C. Margottini et al. (eds.) // Landslide Science and Practice. — 2013. — № 1.

© Надеждина Ю.Ю., 2019

Надеждина Юлия Юрьевна / levak.yuliya@mail.ru

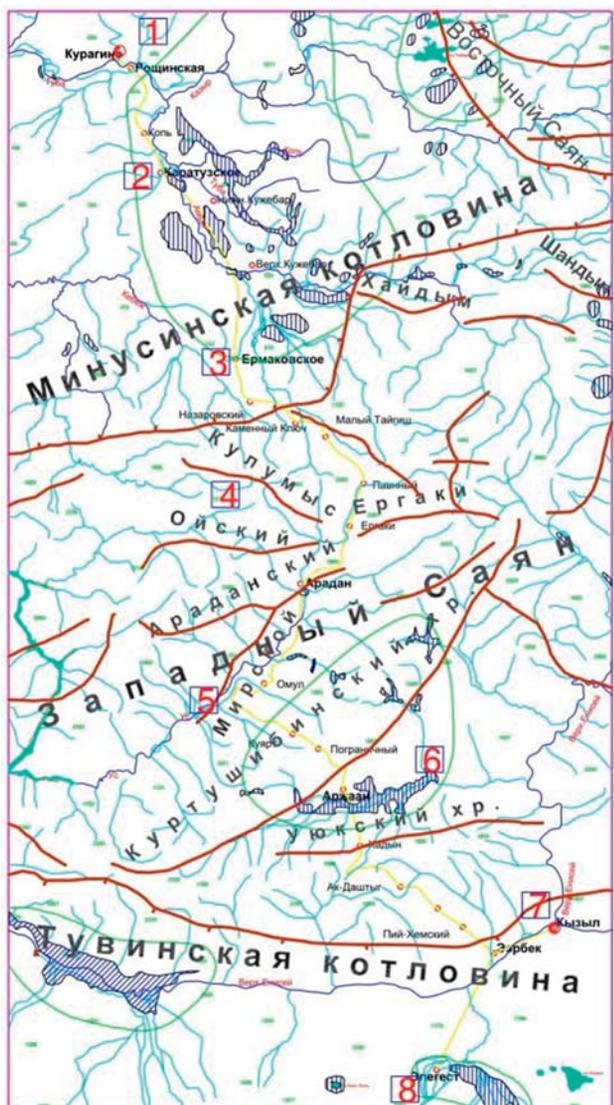


Рис. 5. Гидрологические условия и болота. М-6 1: 000 000

ВЛАДИМИРУ СТЕФАНОВИЧУ БЫКАДОРОВУ — 90 ЛЕТ

10 сентября 2019 г. исполнилось 90 лет Владимиру Стефановичу Быкадорову — заслуженному геологу России, доктору геолого-минералогических наук, академику РАЕН, лауреату Государственной премии СССР, известному ученому и видному специалисту в области угольной геологии.

После окончания в 1953 г. с отличием геологоразведочного факультета Новочеркасского политехнического института, Владимир Стефанович работал в геологических организациях Красноярского геологического управления Мингео СССР на поисках и разведке угольных месторождений Улугхемского, Тунгусского и Канско-Ачинского бассейнов.

Под его руководством и непосредственном участии было разведано несколько крупных угольных месторождений с защитой запасов в ГКЗ СССР, были составлены карты угленосности и качества углей бассейнов Красноярского края. Оказана научно-техническая помощь в разведке месторождений за рубежом (Республика Мали).

В.С. Быкадорову за участие в разведке и подготовке к освоению сырьевой базы Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса была присуждена Государственная премия СССР в области науки и техники. Его имя неоднократно заносилось в Книгу Почета Красноярского геологического управления. По результатам собственных исследований в 1965 г. Владимир Стефанович успешно защитил кандидатскую диссертацию.

В 1966 г. Владимир Стефанович был переведен в Москву в Главное геологическое управление Минуглепрома СССР, где работал старшим инженером, затем главным геологом геологического фонда Главка. В этот период (1966–1980 гг.) главными направлениями в работе В.С. Быкадорова стали проблемы расширения и укрепления угольной сырьевой базы страны. Под его руководством и при непосредственном участии подготовлено большое количество методических руководств и рекомендаций, экспертных заключений, составлены геолого-промышленные карты, карты прогноза угленосности, атласы и альбомы карт многих угольных бассейнов страны. За большие достижения и огромный вклад в угольную отрасль его труд был отмечен высокими отраслевыми наградами, в том числе знаками «Отличник угольной промышленности СССР», «Шахтерская слава» I–III степеней и др.

С 1980 г. в трудовой деятельности Владимира Стефановича начинается новый этап, связанный с переходом на научную работу во ВНИГРИуголь Мингео СССР на должность заместителя директора по науч-



ной работе. В 1983–1985 гг. он возглавлял лабораторию экономического анализа развития сырьевой базы ТЭР в институте ВНИИКТЭП при Госплане СССР.

В.С. Быкадоров в 1985–1998 гг. работал директором ВНИГРИуголь. В институте наиболее полно проявились творческие научно-организационные способности Владимира Стефановича как ученого и умелого руководителя научных исследований, связанных с научно-методическими и технико-технологическими проблемами произ-

водства геологоразведочных работ на ТГИ. По результатам выполненных исследований В.С. Быкадоров в 1998 г. успешно защитил докторскую диссертацию.

Результаты научной деятельности В.С. Быкадорова отражены в более 120 научных работах, в том числе 9 монографиях, многочисленных отчетах и докладах, атласах и картах различного назначения. В 1992 г. Владимир Стефанович был избран член-корреспондентом, а в 2000 г. — академиком РАЕН. За большие достижения и огромный вклад в развитие геологической отрасли он награжден Почетными грамотами и знаками «Отличник разведки недр» и «Почетный разведчик недр» (МНР России), Почетным знаком «За заслуги в развитии науки и экономики» II степени (РАЕН). В 1997 г. ему было присвоено почетное звание «Заслуженный геолог России».

В.С. Быкадоров многие годы являлся членом Научно-технического Совета Мингео СССР и Мингео РФСР, ЭГС ГКЗ СССР, председателем секции РИСО по ТГИ, членом редколлегии журналов «Минеральные ресурсы России», «Отечественная геология» и «Разведка и охрана недр», состоял в Совете по защите кандидатских и докторских диссертаций Ростовского государственного университета. В настоящее время Владимир Стефанович находится на заслуженном отдыхе, но не забывает родной ВНИГРИуголь и продолжает активную деятельность в ветеранском движении геологоразведчиков южного региона.

Интеллигентность, большая эрудиция, огромный профессиональный и жизненный опыт, высокая работоспособность, доброжелательность и скромность позволяют В.С. Быкадорову и сейчас оставаться непререкаемым авторитетом среди специалистов угольной геологии. От всей души поздравляем Владимира Стефановича с замечательным юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, долголетия и бодрости.

*Коллектив ВНИГРИуголь,
Ветераны углеразведочной отрасли*

НИКОЛАЮ НИКОЛАЕВИЧУ ДУНДУКОВУ — 60 ЛЕТ

7 сентября 2019 г. исполнилось 60 лет Николаю Николаевичу Дундукову — директору АО «Урангеологоразведка», заслуженному геологу Иркутской области, Почетному разведчику недр.

Дундуков Н.Н. родился 7 сентября 1959 г. в с. Бабагай Заларинского района Иркутской области. В 1982 г. успешно окончил Иркутский геологоразведочный техникум и был направлен на работу в Сосновское производственное геологическое объединение Главного геологоразведочного управления.

Работая в Сосновском ПГО, Николай Николаевич прошел путь от техника-геолога, инженера-геолога, начальника отряда до директора крупнейшего филиала Федерального государственного унитарного геологического предприятия «Урангеологоразведка» (ФГУГП «Урангео»), бывший Байкальский филиал «Сосновгеология», а с июня 2012 г. — назначен генеральным директором ФГУГП «Урангео», в настоящее время Акционерное общество «Урангеологоразведка».

Свою производственную деятельность Николай Николаевич без отрыва от производства совмещал с учебой в Иркутском государственном университете, который успешно окончил в 1989 г., а в 2003 г. также окончил Московский институт права по специальности «юриспруденция».

В период с 1989 по 1991 г. находился в заграничной командировке в Монголии в качестве инженера-геолога в Геологическом объединении «Совгео» треста «Зарубежгеология».

Николай Николаевич в качестве главного геолога НПП «Сосновгеос» непосредственно участвовал в создании на территории Байкальского региона площадью 500 тыс. км² комплекса многоцелевых геохимических карт масштаба 1:1 000 000 (эколого-геохимическая, ландшафтно-геохимическая, районирования по условиям применения поисковых геохимических методов и рационального природопользования).

В условиях ограниченного госбюджетного финансирования геолого-поисковых и разведочных работ на уран Николай Николаевич активно выполняет большие объемы договорных работ не только в пределах Иркутской области, но и на сопредельных территориях (Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия), Красноярский край, Магаданская область), что позволяет сохранить положительный хозяйственно-финансовый баланс предприятия. Так, под руководством и непосредственном участии Николая Николаевича выполнены важные производственные задания — дого-



ворные гидро-инженерно-геологические работы по обеспечению запасами подземных вод Ковыктинского, Чаяндинского и Чиканского газоконденсатных месторождений, а также Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения, нефть которого уже наполняет магистральный нефтепровод Восточная Сибирь — Тихий океан (ВСТО).

По заказам ОАО «Газпром», ОАО «РУС-СИЯ-Петролеум», ОАО «Иркутскгазпром», ОАО «Петромир», ОАО «Иркутскэнерго», немецкой фирмы «KNAUF», а также для муниципальных образований ряда районов Иркутской области разведаны и оценены месторождения многих строительных материалов и источников подземных вод. Николаем Николаевичем организуются и успешно выполняются также заказы по обеспечению хозяйственно-питьевого водоснабжения и производственных нужд жителей сельско-деревенских поселений и сельхозпроизводителей Иркутской области, Забайкалья.

Результаты своей производственной деятельности по различным геологоразведочным, геологопоисковым и геоэкологическим направлениям он систематически публикует в печати и представляет на Байкальских экономических форумах, многочисленных симпозиумах, совещаниях, конференциях, включая международные. Он является автором и соавтором более 30 печатных научных публикаций и 15 научно-производственных отчетов.

За период работы Николая Николаевича директором «Урангео» существенно расширена минерально-сырьевая база Витимского урановорудного района (выявлены новые рудные объекты — Дулесма, Куларикта, Баркасун). В Восточных Саянах локализованы значительные прогнозные ресурсы урана на Шангулежской площади.

За это время успешно завершена разведка и защита запасов в ГКЗ Апасатского месторождения каменного угля, Белокаменского — кварцитов, Хохловского — урана.

За достижения в геолого-производственной деятельности, добросовестный труд и высокий профессионализм Николай Николаевич награжден знаками «Отличник разведки недр», «Почетный разведчик недр», ему присуждено звание «Заслуженный геолог Иркутской области».

Желаем юбиляру крепкого сибирского здоровья, благополучия, долгих лет активной и плодотворной деятельности на благо нашей Родины.

Коллеги и друзья

ПАМЯТИ ГЕНРИХА ИЛЬИЧА РОССМАНА

14.09.1929 – 03.06.2019

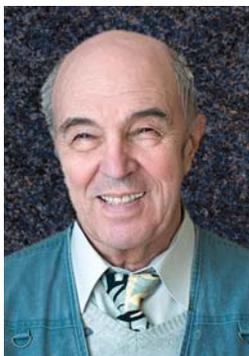
Генрих Ильич, к нашему огромному сожалению, не дожид до своего девяностолетнего юбилея всего три месяца.

Коренной москвич, Г.И. Россман в 1946 г. поступил и в 1952 г. закончил с отличием Московский геологоразведочный институт (МГРИ) по специальности геология и разведка рудных месторождений.

В 1951–1957 гг. Генрих Ильич работал во Всесоюзном аэрогеологическом тресте (ВАГТ) на Рудном Алтае и Алдане, занимаясь геологической съемкой масштабов 1:50 000 и 1:200 000. С 1954 г. начал работы по изучению первичных геохимических ореолов колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая и для завершения этой работы был переведен в 1958 г. в Восточно-Казахстанское геологическое управление.

В 1957 г. поступил в заочную аспирантуру ИГЕМа (рук. д.г.-м.н. Н.И. Гинзбург), в 1961 г. защитил в ВИМСе кандидатскую диссертацию по теме «Первичные геохимические ореолы колчеданно-полиметаллических месторождений Прииртышья, Рудный Алтай» и был принят в урановое подразделение ВИМСа. С 1961 по конец 1980-х годов занимался различными аспектами методик поисков и оценок урановых месторождений главным образом в континентальных вулканогенных формациях: геохимическими признаками, выделением локальных перспективных площадей по комплексу геологических, геофизических и геохимических факторов с применением ЭВМ. В это время им получено 8 авторских свидетельств по минералогическим (скрытого оруденения) и геохимическим методам оценки эрозионного среза и масштаба уранового оруденения.

С начала 1990-х годов Генрих Ильич переключился на исследования, связанные с экологическими проблемами освоения рудных, в том числе урановых месторождений. Г.И. Россман — автор экологических разделов в целом ряде ТЭО кондиций рудных месторождений, ТЭО целесообразности их освоения, бизнес-планов; в соавторстве с разными специалистами им опубликован ряд статей и издано несколько книг по этому направлению («Экологическая оценка рудных месторождений» (2000), «Инженерно-геологические, гидрогеологические и геоэкологические исследования при разведке и эксплуатации рудных месторождений» (2002), «Хранение и захоронение радиоактивных отходов» (2004), «Радиационная экология минерального сырья» (2009), «Промышленная радиационная экология минерального сырья» (2012), «Экологические последствия освоения месторождений бериллиевого минерального сырья» (2015)).



Научные труды Г.И. Россмана трех последних десятилетий особенно ценны тем, что своей целью имели обеспечение безопасности минерально-сырьевых производств для здоровья человека. Эти работы создавались им не только как справочники, но и на основе анализа и систематизации российского и зарубежного опыта, научных изысканий, разработок и методологий, а также технических достижений, предлагали методические подходы и примеры решения конкретных прогнозных задач. Особое место среди них занимали расчеты рисков для здоровья человека.

Без сомнения, Генрих Ильич был одним из ведущих ученых страны в области экологии рудных месторождений, радиационной экологии минерального сырья, хранения и захоронения радиоактивных отходов, став уникальным специалистом в своем деле и заслужив глубочайшее уважение коллег.

Г.И. Россман имел звание Ветерана труда, был награжден значком «Отличник разведки недр», медалью А.Е. Ферсмана (РосГео), неоднократно грамотами Мингео СССР, МПР РФ, Роснедр, ВИМСа; ему было присвоено звание «Почетный разведчик недр».

Всего за период трудовой деятельности им написано многие десятки производственных отчетов; он опубликовал лично и в соавторстве более 120 работ (в т.ч. несколько монографий), принимал участие во многих совещаниях, вплоть до общесоюзных и всероссийских. Свою последнюю монографию «Радиационная и сопутствующая химическая безопасность минерально-сырьевых производств» Генрих Ильич отдал в редакцию ВИМСа ровно за неделю до своей кончины. Он писал ее в свободное от основной деятельности время, надеясь, что работа будет полезна ученым, производственникам, студентам, простым гражданам нашей страны. Будучи уже тяжело больным, он думал о здоровье населения и работников на территориях влияния опасных промышленных объектов. Институт, которому Г.И. Россман был верен почти 60 лет, обязательно выпустит в свет его такой необходимый в области промышленной экологии труд.

Генрих Ильич был фантастически увлечен научной работой, всегда интересовался новыми тенденциями и, более того, активно участвовал в их воплощении; был очень думающим и современным ученым — практиком, аналитиком, методистом.

Он всегда был человеком замечательных качеств — легким в общении, доброжелательным, отзывчивым, преданным делу и близким людям, которые сохраняют светлую память о нем.

*Коллеги, ученики, друзья,
Совет ветеранов ВИМСа*

ТАЛИЯ ЗИНУРОВНА ЛЫГИНА

09.10.1952 — 27.08.2019

27 августа 2019 г. скончалась заместитель директора по науке — руководитель аналитико-технологической службы ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», доктор геолого-минералогических наук, профессор, Талия Зинуровна Лыгина.

Свою трудовую деятельность в ВНИИ-геолнеруд, ныне ЦНИИгеолнеруд, Т.З. Лыгина начала в 1976 г. после окончания химического факультета Казанского государственного университета. За это время она прошла путь от рядового инженера до заместителя директора по науке.

С 1994 г. Т.З. Лыгина являлась руководителем Аналитико-технологического сертификационного испытательного центра (АТСИЦ) ФГУП «ЦНИИгеолнеруд». Центр одним из первых в геологической отрасли прошел аккредитацию и признание технической компетенции в Системах аккредитации аналитических лабораторий и лабораторий радиационного контроля Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) России, международной ассоциации аналитических центров IAC/APLAC, испытательных лабораторий Роснано. В 2015 г. Талией Зинуровной была создана ИЛ «МинАналит», подтверждающая техническую компетентность в национальной системе Федеральной службы по аккредитации.

В 2011 г. по инициативе Т.З. Лыгиной была создана Система добровольной сертификации состава и свойств промышленного минерального сырья «Промсырье» и получен сертификат о ее регистрации в едином реестре систем добровольной сертификации.

Сочетание энергичного, неутомимого ученого новой формации, отлично разбирающегося в современных запросах отраслевого рынка с одной стороны, и высоко эрудированного ученого-минералога с другой, явилось залогом успешной деятельности возглавляемого Талией Зинуровной коллектива. Ее научная деятельность известна широкому кругу специалистов по выступлениям на многочисленных конференциях, симпозиумах, семинарах различного ранга. Она является автором более 200 научных публикаций, в число которых входит 5 коллективных монографий, 4 патента на изобретение, учебные и учебно-методические пособия.

Для проведения совместных исследований и научных выступлений Т.З. Лыгина регулярно приглашалась в крупные научные центры страны, а также в



страны ближнего и дальнего зарубежья. Она являлась членом отраслевого Научного Совета по минералогическим и аналитическим методам ВИМСа, Технического комитета по стандартизации (ТК 421) России, двух диссертационных докторских советов. Талия Зинуровна была научным руководителем ряда научных разработок института, выполняемых в рамках государственных контрактов с Минприроды России, Роснедрами, Росгео. В научных исследованиях, проводимых ею, решались вопро-

сы, связанные с изучением минерально-сырьевой базы неметаллов, ее эффективного использования, мониторингом геологической среды, разработки и внедрения в практику лабораторных работ отрасли высокочувствительных и производительных методов и методик, позволяющих проводить исследования на высоком уровне. Т.З. Лыгина успешно сочетала научно-исследовательскую деятельность с педагогической, принимая активное участие в подготовке профессиональных кадров, осуществляя руководство дипломниками и аспирантами. Под ее руководством защищены 10 кандидатских и 2 докторских диссертации. Следует отметить, что в подготовленных диссертационных работах решался широкий комплекс сложных научных проблем, которые находятся на стыке нескольких научных направлений — минералогии, кристаллографии, геохимии, аналитической химии, технологии и экологии. За успешную научно-производственную деятельность Т.З. Лыгина награждена медалью «За заслуги перед Отечеством» II степени, медалью «В память 1000-летия Казани», неоднократно поощрялась ведомственными наградами — «Почетный разведчик недр», Межотраслевой знак «Горняцкая слава», удостоена звания «Заслуженный деятель науки Республики Татарстан», в 2003 г. в составе авторского коллектива ей присуждена Государственная премия Республики Татарстан в области науки и техники. Преданность институту, талант, жизнелюбие — все это снискало Талие Зинуровне искреннее уважение и признательность в геологическом обществе.

Ушла из жизни авторитетный организатор современных научных исследований нерудного сырья, доброжелательный, отзывчивый человек и мудрый наставник.

Светлая память о Талие Зинуровне Лыгиной навсегда останется в сердцах ее коллег, друзей и товарищей.

*Коллектив ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»,
дирекция ВИМСа, друзья, коллеги*

ПОДПИСКА — 2020

Редакция журнала «Разведка и охрана недр» объявляет начало подписной кампании на 2020 год.

1. Подписаться на журнал «Разведка и охрана недр» можно в ФГБУ «ВИМС», оплатив стоимость подписки, не позднее 25 декабря 2019 г.:

Стоимость годовой подписки (№ 01 — 12/2020 г.) — 11220 (Одиннадцать тысяч двести двадцать) рублей, в том числе НДС 10 % — 1020 (Одна тысяча двадцать) рублей.

Подать заявку, заказать договор можно по E-mail: gion66@mail.ru или через сайт журнала - gion-journal.com.

Оплатите стоимость годовой подписки по реквизитам:

Р/сч. 40501810845252000079 в ГУ Банка России по ЦФО г. Москва 35, БИК 044525000, с указанием КБК 00000000000000000130, получатель — УФК по г. Москве (ФГБУ «ВИМС», л/с 20736В03300), ИНН 7706433263, КПП 770601001, назначение платежа - годовая подписка на журнал «Разведка и охрана недр» № 01-12/2020 г., в том числе НДС 10%. Обязательно вышлите копию платежного поручения с реквизитами организации по адресу редакции.

По всем вопросам просим обращаться в редакцию журнала:

тел./факс 8 - (499) 238-15-67, тел. 8 - (495) 950-30-25

E-mail: gion66@mail.ru, gion60@mail.ru

119017, г. Москва, Старомонетный пер., 31

Сайт журнала - <http://gion-journal.com>

2. Подписаться на журнал «Разведка и охрана недр» можно в любом почтовом отделении по Каталогу Агентства Роспечати «Газеты. Журналы»:

Индекс — 84412

3. Подписаться на электронную версию журнала можно на платформе «Научная электронная библиотека» - elibrary.ru





Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий

ОСВОЕНИЕ, ВОСПРОИЗВОДСТВО, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ПРОБЛЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

- Направления использования металлов высоких технологий
- Минерально-сырьевая база металлов
- Геология, поиски и разведка
- Добыча и переработка
- Перспективы освоения отечественных месторождений

Организационный комитет приглашает Вас принять участие в работе научно-практической конференции, которая состоится во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (Россия, г. Москва) 3-4 декабря 2019 г.

Организаторы конференции

- Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра)
- Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГБУ «ВИМС»)
- Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН)

Секретариат конференции

E-mail: konf-vims@mail.ru

Печенкин Игорь Гертурдович – тел. 8(495) 950-34-64

Луговская Ирина Германовна – тел. 8(495) 950-35-71

Арманд Ольга Алексеевна – тел. 8(495) 950-33-18

Первый циркуляр и регистрационная форма на сайте ВИМСа www.vims-geo.ru

Тел/факс ФГБУ «ВИМС»: (495) 951-50-43, *E-mail:* vims@df.ru

Программа конференции будет разослана, приславшим регистрационную форму, а также размещена на сайте www.vims-geo.ru

Необходимо сообщить в секретариат о возможности Вашего участия в конференции (прислать регистрационную форму) до 1 ноября 2019 г.

Предполагается издание сборника «**Материалы конференции...**»

Оргвзносы для участников не предусматриваются

