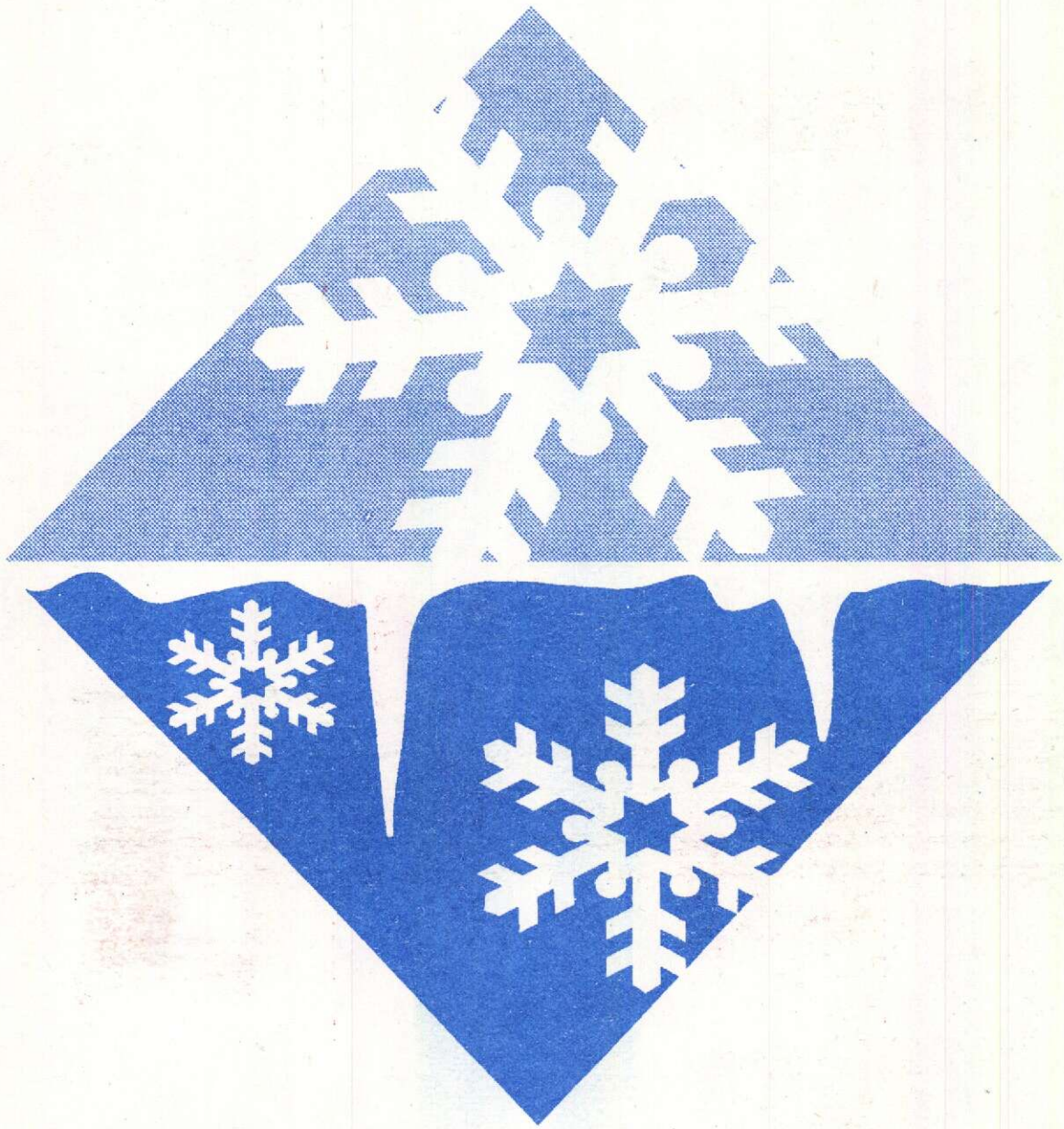


# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



6/1996

ISSN 0869-5997



С Новым 1997 годом !

# РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



Научно-технический журнал

Выходит 6 раз в год

Основан в 1992 году

## 6/1996

ISSN 0869-5997

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И. Ф. МИГАЧЕВ

Б. И. БЕНЕВОЛЬСКИЙ  
Э. К. БУРЕНКОВ  
В. И. ВАГАНОВ  
В. И. ВОРОБЬЕВ  
П. А. ИГНАТОВ  
С. С. КАЛЬНИЧЕНКО  
М. М. КОНСТАНТИНОВ  
И. В. КРЕЙТЕР (отв. секретарь)  
А. И. КРИВЦОВ (зам. главного редактора)  
Н. К. КУРБАНОВ  
Г. А. МАШКОВЦЕВ  
В. М. МИНАКОВ  
Н. И. НАЗАРОВА (зам. главного редактора)  
Г. В. ОСТРОУМОВ  
В. М. ПИТЕРСКИЙ  
В. И. ПЯТНИЦКИЙ  
Г. В. РУЧКИН  
Ю. Г. САФОНОВ  
Г. В. СЕДЕЛЬНИКОВА  
В. И. СТАРОСТИН  
И. А. ЧИЖОВА  
Ю. М. ЩЕПОТЬЕВ

Учредитель

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ  
(ЦНИГРИ)

Издается при участии

Международной Академии минеральных ресурсов,

фонда им. академика В. И. Смирнова

Москва ЦНИГРИ 1996

За рецензирование и научное редактирование статей в 1996 году благодарю *Р.А.Амосова, Э.К.Буренкова, В.И.Ваганова, С.С.Вартаняна, П.А.Игнатова, С.С.Кальниченко, М.М.Константинова, В.И.Кочнева-Первухова, Н.К.Курбанова, В.И.Куторгина, Г.А.Машковцева, В.М.Минакова, Г.В.Остроумова, В.И.Пятницкого, Г.В.Ручкина, Ю.Г.Сафонова, Г.В.Седельникову, В.И.Старостина, А.А.Фельдмана, Ю.М.Щепотьева.*

Главный редактор  И. Ф. Мигачев

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

- Быховский Л.З., Машковцев Г.А., Самсонов В.Г., Эпштейн Е.М.* 5  
Рациональное использование недр – основной путь повышения качества и конкурентоспособности минерально-сырьевой базы России

### Прикладная металлогения

- Горжевский Д.И., Донец А.И.* 13  
Роль авлакогенов Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в формировании и размещении месторождений полезных ископаемых

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

- Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* 25  
Проблемы шлихо-минералогических поисков месторождений алмазов на закрытых территориях Якутии

- Миловский Г.А., Бачманов Д.М.* 33  
Оптимизация применения космических данных при прогнозе золото-серебряных месторождений в Маданской области

- Федоров М.Ю.* 41  
Использование растровых изображений при обработке пространственных геохимических данных

### Строение рудных месторождений

- Галецкий Л.З., Доброхотов С.М.* 47  
Золоторудная минерализация Среднего Приднепровья (Украинский щит)

- Чекалин В.М.* 55  
Геолого-генетическая модель Змеиногорского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай)

### Комплексное использование минерального сырья

- Клименко Н.Г., Ахмедов А.З.* 66  
Пути эффективного использования окисленных полиметаллических руд

- Bykhovsky L.Z., Mashkovtsev G.A., Samsonov B.G., Epshtein Ye.M.*  
Rational subsurface use as a primary way to enhance the quality and competitiveness of Russia's mineral base

### Applied Metallogeny

- Gorzhevsky D.I., Donets A.I.*  
The role of aulacogens of the East European platform (EEP) in formation and distribution of mineral deposits

### Methods and Methodology of Prediction, Prospecting, Evaluation and Exploration of Mineral Deposits

- Afanasyev V.P., Zinchuk N.N.*  
Problems of heavy-concentrate mineralogical exploration of diamond deposits in closed areas of Yakutia

- Milovsky G.A., Bachmanov D.M.*  
Optimization of spacecraft-borne surveying data use in forecasting gold-silver ore deposits in Magadanskaya Oblast

- Fedorov M. Yu.*  
Use of raster images in spatial geochemical data processing

### Structure of Ore Deposits

- Galetsky L.S., Dobrokhotoy S.M.*  
Gold ore mineralization in the Middle Pridneprovye (the Ukrainian Shield)

- Chekalin V.M.*  
A geological-genetic model of the Zmeinogorskoye massive sulfide deposit (Rudny Altai)

### All-round Utilization of Mineral Products

- Klimenko N.G., Akhmedov A.Z.*  
Ways to improve the utilization of oxidized complex ores

Романчук А.И., Задорнов М.М.,  
Ивановская В.И., Матевич Т.Н.  
Возможности комплексного использо-  
вания железо-марганцевых обра-  
зований (ЖМО) Мирового океана

70

Шелехов А.Н., Бедим В.В., Сычева  
М.Н., Лючкин В.А., Власова Н.Г.,  
Чупупкин В.Н.

74

Предварительная технологическая  
оценка попутного извлечения золота  
из хвостов руд железистых кварцитов  
и песчано-гравийно-галечных обра-  
зований

### Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ

Абрамов В.Ю., Мишин О.В., Лаптев  
М.Ю., Томилин В.Н.

76

Изучение верхних частей геологиче-  
ских разрезов методом наземного  
радиозондирования

### Поздравляем

Шестидесятилетие В.И. Минакова

83

Девяностопятилетие А.Л. Вильшан-  
ского

84

Список статей,  
опубликованных в  
журнале «Руды и металлы»  
в 1996 году

85

Romanchuk A.I., Zadornov M.M.,  
Ivanovskaya V.P., Matevich T.N.,  
Karolev A.B.

Feasible leads for all-round utilization  
of oceanic Fe-Mn-nodules and crusts

Shelekhov A.N., Bedim V.V., Sycheva  
M.N., Lyuchkin V.A., Vlasova N.G.,  
Chugunkin V.N.

A preliminary technological estimation  
of by-product gold extraction from tail-  
ings of iron-formation ores and sandy-  
gravel-pebble formations

### Equipment and Technologies for Geological Prospecting

Abramov V.Yu., Mishin O.V., Laptev  
M.Yu., Tomilin V.K.

Examination of upper parts of geologi-  
cal sections by means of overground  
radio sounding

### Congratulations

Sixtieth anniversary V.M. Minakov

Ninety-fifth anniversary A.L. Vil'shan-  
sky

### «Ores and Metals» in 1996: List of publications

УДК 553.042:339.137.2

© Коллектив авторов, 1996

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДР – ОСНОВНОЙ ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИИ

Л. З. БЫХОВСКИЙ, Г. А. МАШКОВЦЕВ, Б. Г. САМСОНОВ, Е. М. ЭПШТЕЙН  
(ВИМС Роскомнедра)

*Рудные месторождения России редко являются конкурентоспособными по сравнению с зарубежными аналогами. Повысить качество минерально-сырьевой базы возможно за счет экономической эффективности и комплексного ее освоения на основе прогрессивных технологий геологоразведки, добычи и переработки полезных ископаемых, совершенствования методов организации производства, с учетом конъюнктуры внутреннего и мирового рынка, экономических последствий разработки месторождений.*

В соответствии с Положением о Комитете Российской Федерации по геологии и использованию недр, важнейшие его задачи — государственный контроль за рациональным использованием недр, разработка основ федеральной политики и межотраслевая координация в этой области. Вместе с тем, в настоящее время отсутствует общепринятое понятие «рациональное использование недр».

По нашему мнению, под рациональным использованием недр (РИН) следует понимать их экономически эффективное комплексное освоение на основе прогрессивных технологий геологоразведки, добычи и переработки полезных ископаемых, совершенствования методов организации производства, с учетом стратегических интересов страны, конъюнктуры внутреннего и мирового рынков, экологических последствий разработки месторождений. РИН базируется на комплексном изучении объектов, включающем сочетание современных методов геологического и геолого-технологического картирования, технических средств разведки, методики опробования, установления элементного, минерального состава и других показателей качества полезных ископаемых, возможности создания безотходной или малоотходной технологии, оценке инженерно-геологических, горно-технических, гидрогеологических условий и ожидаемых экологических последствий разработки месторождения, а также маркетинга основной и попутной продукции горнодобывающего предприятия. Только сочетание перечислен-

ных методов может служить основой достоверной геолого-экономической оценки месторождения.

Большинство рудных месторождений, учтенных государственным балансом России, представлено рядовыми и бедными рудами, часто труднообогатимыми, залегающими в сложных горно-геологических условиях, неблагоприятной физико-географической обстановке. В связи с этим они редко являются конкурентоспособными по сравнению с многими эксплуатируемыми зарубежными месторождениями. Рентабельность отработки большинства разведанных рудных месторождений, согласно утвержденным кондициям, редко превышает 12—15 %, чаще составляя первые проценты. Они разведаны в основном 10—30 лет назад, что вызывает необходимость их геолого-экономической переоценки. Выполненные в этом направлении предварительные расчеты показали, что по многим видам полезных ископаемых в категорию забалансовых могут перейти от 30 до 70 % известных месторождений [10]. Вместе с тем, при переоценке некоторые забалансовые месторождения могут перейти в разряд балансовых. Примером служит анализ минерально-сырьевой базы титана, где, по данным ГИРЕДМЕТА, первоочередным для освоения признано Центральное титано-циркониевое месторождение в Тамбовской области, числящееся забалансовым, при том, что на государственном балансе России имеется 12 неосвоенных балансовых месторождений.

Развитие минерально-сырьевой базы страны может быть осуществлено, во-первых, в результате собственно геологоразведочной деятельности, приводящей к открытию новых высококоррелябельных месторождений, и, во-вторых, путем расширения этой базы за счет достижений научно-технического прогресса в области РИН, включающих как переоценку разрабатываемых, резервных и других месторождений, состоящих на государственном балансе, так и оценку известных рудопроявлений. Именно второе направление наиболее актуально в современных экономических условиях.

РИН основано на решении следующих проблем:

**1. Выбор способа и технологии разработки месторождения с учетом возможности применения, наряду с традиционными горными, геотехнологических методов добычи твердых полезных ископаемых.** Так, внедрение технологии подземного выщелачивания урана позволило существенно расширить его сырьевую базу. Этим способом в СССР добывалось около 30 % урана. Здесь наша страна была мировым лидером и намного опережала остальные страны. Преимущества метода достаточно широко известны. Они связаны с более низкой (на 20—30 %) себестоимостью по сравнению с горным способом отработки, меньшими в 2—5 раз затратами и их быстрой окупаемостью, при наибольшей экологической безопасности, комфортными условиями труда, высоким уровнем автоматизации процесса. Этот метод создает возможность вовлечения в отработку месторождений, залегающих в сложных горно-геологических условиях, в том числе на значительных глубинах (до 600—700 м), с забалансовыми для горного способа содержаниями металла в рудах. Одновременно с U могут извлекаться Re, Sc, V, Se, Mo.

Самостоятельное производство по геотехнологической добыче создается на месторождениях, приуроченных к однородным фильтрующим средам при содержании урана от первых сотых долей процента, в то время как для месторождений, разрабатываемых традиционными методами минимально-промышленные содержания на порядок выше. Оработка производится скважинными системами подземного выщелачивания с последующей гидрометаллургической переработкой продуктивных растворов.

Исследования по внедрению скважинных систем подземного выщелачивания ведутся и для отработки неурановых месторождений. Так, в США осуществляется проект Санта-Круз по опытно-промышленной эксплуатации одноименного месторождения меди. Исследуются возможности извлечения этим методом и других полезных ископаемых — свинца, цинка, золота, фосфора, серебра, марганца, никеля и др.

В классическом понимании к геотехнологическим относятся методы добычи полезных ископаемых на месте их залегания без существенного нарушения целостности вмещающего массива. Однако на практике в них включают и методы открытого (нецехового) выщелачивания, таких как кучное, отвальное, переработку рудничных вод и другие.

Наряду с самостоятельными производствами важное значение могут иметь вспомогательные предприятия действующих и завершающих производств по доработке месторождений, отработываемых традиционным способом. В этом случае выщелачивание производится сочетанием различных методов: подземным комбинированным, кучным, утилизацией рудничных вод, отвальным и другими. Этими методами в отработку вовлекаются забалансовые и «потерянные» руды на месте залегания, а также горно-промышленные отходы. Подобная практика известна из советско-германского опыта на урановом месторождении Кенигшайн, при отработке которого, наряду с традиционными методами, были применены подземный и кучный способы выщелачивания, а также извлечение урана из рудничных вод.

В США таким способом производится около четверти объема горной добычи меди. Извлечение осуществляется на 28 установках преимущественно отвального, а также кучного подземного выщелачивания и переработки рудничных вод. К этому же направлению относится недавно созданное узбекско-американское СП по отвальному выщелачиванию золота на месторождении Мурунтау. Кстати, десятикратное увеличение добычи золота в США за период с 1980 до 1990 гг. в значительной мере произошло благодаря применению кучного выщелачивания с предварительным дроблением до класса -17 мм, агломерацией и окомкованием с известью и последующим выщелачиванием цианидами с извлечением 85—95 % золота за 36—45 дней [7].



В настоящее время в России и других странах проводятся интенсивные исследования по изучению применения и внедрению другого скважинного метода — скважинной гидродобычи (СГД), основанной на гидравлическом принципе. Сущность его заключается в разрушении горного массива у забоя скважины, пульпоприготовлении и транспортировке пульпы через другие скважины на поверхность земли, в горные выработки или плавсредства [2]. Для СГД перспективны легкодиспергируемые пористые, рыхлые и слабо-связанные залежи полезных ископаемых. К ним относятся россыпи, коры выветривания, многие осадочные месторождения разнообразных рудных и нерудных полезных ископаемых, торфа и бурых углей, битумов и асфальтитов, а также коренные руды в зоне тектонических нарушений или после предварительного взрывного дробления. По предварительной оценке, способ является высокоэффективным, позволяющим снизить капитальные вложения в 2—3, а себестоимость в 1,5—2 раза [5].

Экспертная оценка возможностей развития скважинных (геотехнологических) методов добычи и переработки полезных ископаемых, данная В.Ж.Аренсом с соавторами [9], весьма оптимистична (табл. 1). Реализация этого прогноза в связи с переживаемым кризисом несколько затягивается, но тенденции намечены достаточно четко, хотя в отдельных случаях требуются уточнения. Так, для скважинной гидродобычи на первые места, наряду с песчано-гравийными отложениями, выходят полезные ископаемые, не перечисленные в таблице, а именно — захороненные рыхлые железные руды и титано-циркониевые россыпи.

Таким образом, появление скважинных методов добычи целого ряда твердых полезных ископаемых значительно расширяет перспективы прироста их запасов, т.к. месторождения, ранее считавшиеся непромышленными в связи с большими глубинами залегания, сложными горно-техническими и гидрогеологическими условиями отработки, низкими содержаниями полезных компонентов, могут перейти в разряд промышленных. Все это вызывает необходимость переоценки прогнозных ресурсов многих видов полезных ископаемых, перспективных для применения скважинных способов добычи и постановки соот-

ветствующих целенаправленных поисковых работ.

**2. Обоснование методов переработки добытого минерального сырья на основе прогрессивных технологий обогащения и передела с целью создания мало- и безотходных технологий.** Эти технологии должны включать предварительную рудоподготовку, селективную дезинтеграцию рудных комплексов, повышение контрастности технологических свойств минералов, возрастание роли химико-металлургических процессов в первичной обработке минерального сырья и использование хвостохранилищ как техногенных месторождений [4, 6, 11, 14].

Предварительное обогащение, как известно, наиболее перспективно на основе установления контрастности руд и радиометрических методов опробования, с последующей крупнопорционной сортировкой в транспортных емкостях и покусковой сепарацией. Эти методы достаточно широко освещены в печати [3, 6, 10, 12, 13 и др.] и активно внедряются. Методы предварительного радиометрического обогащения основаны на разнообразных признаках разделения и могут быть применимы к рудам многих полезных ископаемых [13].

В последние годы имеется достаточно примеров, когда использование различных методов предварительного радиометрического обогащения горной массы позволяет значительно улучшить технико-экономические показатели горнодобывающего предприятия как за счет повышения содержания полезных компонентов, сокращения затрат на транспортировку и переработку руды, так и роста степени извлечения полезных компонентов на обогатительной фабрике, а также благодаря возможности применения при добыче более производительных систем с валовой выемкой руд (табл. 2). Перспективны и методы предварительной покусковой сепарации с применением тяжелых жидкостей и суспензий.

Предварительное обогащение создает экономические предпосылки для рентабельной отработки месторождений сравнительно бедных руд, а также для вовлечения в промышленное освоение складированных отвалов забалансового минерального сырья. Например, при разработке кондиций Соболиного оловорудного месторождения учет возможности радиометрической покусковой сепарации сделал целесообразным подсчет запасов в

1. Экспертный прогноз развития скважинных (геотехнологических) методов добычи и переработки полезных ископаемых, по В.Ж.Аренсу и др., 1991, с сокращениями

Метод	Выявление технологической возможности	Разработка экономически эффективной технологии	Промышленное использование
	Прогнозируемые годы		
Подземное растворение:			
галита	освоено		
сильвинита	—	до 1990	1995
карналлита	до 1990	1995	2000
бишофита	до 1990	1992	1995
Выщелачивание:			
урана	освоено		
свинца, цинка	до 1990	1992	1995
меди	до 1990	1992	1995
марганца	до 1990	1993	2000
никеля	1992	1995	2000
молибдена	1992	1995	1995
золота	до 1990	до 1990	1995
фосфоритов	до 1990	1992	2000
апатита	до 1990	19935	2000
индия, кадмия	до 1990	1992	2000
бора	1992	1998	2000
Микробиологическая интенсификация процессов добычи:			
урана	до 1990	1992	1995
меди			
никеля, цинка			
Подземная выплавка:			
серы	до 1990	до 1990	до 1990
асфальтита	до 1990	1998	2000
битума	до 1990	1995	2000
металлов	1995	2000	2010
Скважинная гидродобыча:			
песка, гравия	до 1990	1992	1995
фосфоритов	до 1990	до 1990	1995
касситерита, золота	до 1990	1992	1995
угля, марганца	до 1990	1995	2000
бокситов	1992	1995	2000

геологических границах тел турмалинитов, вмещающих оруденение, за счет чего были существенно увеличены запасы и улучшены технико-экономические показатели месторождения [6].

По данным ТЭО постоянных кондиций Тигриного оловянно-вольфрамового месторождения, учитывающего только стандартные способы переработки руды, освоение его оказалось нерентабельным. Включение же в схему переработки руд радиометрической сортировки и сепарации позволило повысить уровень рентабельности будущего предприятия

до нормативного за счет удаления около 50 % весьма бедных и безрудных пород, что привело к повышению в два раза содержания полезных компонентов в руде, поступающей на обогатительную фабрику [3].

Не останавливаясь подробно на возможностях совершенствования технологии переработки руд, отметим лишь отдельные примеры, когда получение кондиционных концентратов из труднообогатимых руд методами механического обогащения достигается лишь при извлечении полезных компонентов на уровне 50—60 %, что нередко делает нерен-

## 2. Технологические возможности радиометрической сепарации, по В.А.Чантурии, 1995

Руды	Сепарация	Число изученных объектов	Пределы уровня контрастности	Выход хвостов, %	Степень обогащения
Медно-никелевые, золотосодержащие, кобальтовые	Радиорезонансная, фотометрическая	14	1,5—1,6	50	1,9
		1	1,4—1,6	40	1,6
Вольфрамовые, молибденовые	Рентгенорадиометрическая	13	1,1—1,4	35	1,45
Свинцово-цинковые, оловянные, горно-химическое сырье	Рентгенорадиометрическая, рентгенолюминесцентная, нейтронно-абсорбционная	25	1,0—1,3	30	1,4
Редкометалльные, апатито-магнетитовые, хромитовые	Рентгенорадиометрическая, рентгенолюминесцентная, радиорезонансная	21	0,6—1,0	20	1,3

табельной отработку подобных месторождений. В то же время обогащение таких руд до «некондиционных концентратов» с более низкими их содержаниями, но при повышенном извлечении металлов (до 80—90 %) для последующей переработки пиро- и гидрометаллургическими способами дает значительный экономический эффект. Примером может служить Больше-Тагнинское ниобиевое месторождение, рентабельная отработка которого, по данным ВИМСа, возможна лишь при комбинированном способе — покусковая сепарация, обогащение, гидрометаллургическая доводка пирохлоровых концентратов до кондиционных.

Большие перспективы имеют микробиологические методы переработки руд.

С возможностями совершенствования технологии переработки полезных ископаемых связано развитие минерально-сырьевой базы практически всех видов минерального сырья.

3. Повышение степени комплексного использования месторождений включает использование вскрышных и вмещающих пород, извлечение попутных полезных минералов и элементов-примесей рудных концентратов, утилизацию отходов переработки полезных ископаемых и концентратов, дренажных (шахтных) вод и попутных вод нефтяных месторождений, метана на угольных месторождениях и т.д.

В последние два десятилетия комплексная

изученность месторождений заметно повысилась. Несколько возросла и комплексность их освоения, хотя она далеко не соответствует имеющемуся потенциалу. На многих месторождениях попутные компоненты, даже утвержденные ГКЗ, не извлекаются или извлекаются лишь частично. Классическим примером могут служить хибинские апатитовые месторождения, где сегодня извлекается лишь 10—12 % нефелина, а утилизация сфена для получения титановых продуктов не достигает и одного процента. На Ковдорском апатит-бадделейтовом месторождении извлечение остродефицитного бадделейта ( $ZrO_2$ ) в концентрат лишь в 1994 г. достигло 17 %; не используются кальцит-форстеритовые отвальные продукты обогащения.

Сегодня известны месторождения, рентабельная отработка которых возможна лишь при использовании пород вскрыши (3-е Северное месторождение железных руд) или при утилизации нерудной части продуктивных отложений (титано-циркониевые россыпи — Обуховское, Туганское и др. месторождения). Здесь в стоимости выпускаемой продукции доля нерудной части — кварцевых песков для производства силикатного кирпича — достигает 40—50 %. Фактически подобные объекты должны рассматриваться как комплексные месторождения титана, циркония и кварцевых песков.

Рентабельность отработки ряда боксито-

вых месторождений, по данным ВИМСа, можно существенно повысить, если рассматривать их как комплексные каолин-бокситовые месторождения.

Попутная утилизация дренажных вод значительно увеличила эффективность обработки Лебединского и Михайловского железорудных месторождений, т.к. позволила полностью обеспечить потребности в воде соответствующих ГОКов и металлургического комплекса в Старом Осколе [6].

Проблеме комплексного использования месторождений посвящено огромное количество публикаций. Был разработан и частично осуществлен ряд национальных программ, среди которых особо следует выделить «Программу основных направлений комплексного использования полезных ископаемых Кольского полуострова», утвержденную постановлением Госплана СССР в 1988 г., но, к сожалению, практически полностью не выполненную. Основные ее положения и сегодня актуальны.

В современных условиях проблема комплексности нередко играет двойную роль: возрастание числа полезных компонентов повышает стоимость товарной продукции, но осложняет технологию ее получения, увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты. К тому же возможности сбыта попутной продукции часто ограничены, особенно это касается нерудной части для местного потребления, но нередко и отдельных редких и рассеянных элементов. В связи с этим при определении оптимальной производительности проектируемого горнодобывающего предприятия необходимо учитывать возможность реализации попутных компонентов и, прежде всего, нерудной составляющей, особенно если ее доля в выпуске товарной продукции является значительной.

Расширение минерально-сырьевой базы за счет комплексного использования месторождений по-прежнему остается актуальной задачей, имеющей к тому же важное экологическое значение. При этом возрастает роль лицензирования и маркетинга для реализации основных и попутных компонентов.

**4. Вовлечение в промышленное освоение новых нетрадиционных видов минерального сырья и новых типов месторождений.** В этой области в нашей стране имеются богатые традиции. Достаточно вспомнить небоксито-

вые виды алюминиевого сырья, представленные нефелиновыми и алунитовыми рудами, по переработке которых СССР занимал первое место в мире. Только в нашей стране перерабатываются лопаритовые концентраты в качестве источника тантала, ниобия, редких земель, титана. Впервые в мире у нас было налажено в промышленном масштабе производство бериллия из фенакит-берtrandитовых руд, скандия из отходов переработки ильменитовых концентратов и т.д.

Целесообразно вовлечение в промышленное освоение ряда нетрадиционных минералов как добываемых попутно с другими полезными компонентами, так и слагающих самостоятельные месторождения. Такими минералами для титана являются сфен, перовскит, титано-магнетит. Ежегодно из недр при обработке хибинских апатитовых месторождений попутно добывается около 1 млн. т сфена, в котором содержится около 360—370 тыс. т диоксида титана. Это примерно десятая часть мировой добычи титана и перспективная потребность России на 2000 год.

Для циркония — актуальна проблема эвдиалита, образующего самостоятельные гигантские месторождения, которые пока отнесены к забалансовым. Среди других минеральных видов следует отметить для ниобия — луешит; для тантала — гатеттолит; для олова — станнин, тиллит, франкеит и др. Для алюминия в качестве перспективного сырья рассматриваются сыныриты, давсониты и некоторые другие породы.

Наряду с освоением новых минеральных видов руд, перспективен ввод в промышленную переработку новых типов месторождений. Применительно к наиболее дефицитным металлам такими могут стать: для хрома — комплексные ильменит-хромит-циркониевые россыпи типа Лукояновской (Нижегородская область), если будет решена технологическая проблема разделения ильменит-гематит-хромитового концентрата [12]; для марганца — железо-марганцевые конкреции и корки Мирового океана, служащие также источником для получения никеля, кобальта и меди; для титана и циркония — это попутное получение ильменитовых, рутиловых, циркононовых концентратов и золота из месторождений песка и песчано-гравийных смесей, а также из так называемых «перемещаемых масс»,

т.е. горных пород, добываемых при строительстве портовых сооружений, очистке фарватеров рек и т.д. И, наконец, получение концентратов титана и циркония из отходов шлихообогатительных фабрик и установок.

**5. Совершенствование и внедрение новых методик разведки и опробования месторождений полезных ископаемых.** При разведке россыпей с неравномерным распределением золота применение траншей или разведочных сечений, сопровождаемое крупнообъемным опробованием, позволило перевести в разряд промышленных и вовлечь в освоение ряд золото-россыпных месторождений и узлов (Адычанский район Якутии и др.).

Опробование по рудной схеме ряда оловяносных россыпей, сопровождаемое минералогическим картированием, значительно повысило промышленный потенциал крупнейших россыпей России — Одинокой и Тирехтях. На первой из них олово в «связанном состоянии» составляет 40 %, а на второй — 12 %.

Не останавливаясь на геофизических методах разведки и опробования, применение которых способствовало наиболее достоверной оценке целого ряда месторождений [6], отметим, что на ранних стадиях изучения объектов во многих случаях целесообразно внедрение экспрессных люминесцентных методов опробования, а в ходе более детального изучения — рентгенорадиометрического каротажа скважин и опробования горных выработок для установления расчетных показателей крупнопорционной сортировки и покусковой сепарации [4, 13].

Методы оценки минерального состава с помощью рентгенографического количественного фазового анализа (РКФА) позволяют повысить достоверность, сократить сроки изучения и снизить стоимость анализов. На примере Бешпагирского месторождения ВИМСом разработан и аттестован НСАМ, как соответствующий анализам третьей категории точности, подобный метод оценки качества рудных песков титано-циркониевых россыпей. Ранее и до настоящего времени качество песков оценивалось по результатам минералогических оптических анализов, что приводило к занижению содержания основных рудных минералов на 10—25 %, искажению реальных соотношений титановых минералов (ильменита, рутила, лейкоксена).

**6. Выявление новых областей использо-**

вания минерального сырья. Историческим примером может служить уран, который 50—60 лет назад практически не использовался, а был лишь побочным продуктом при получении радия. Сегодняшний пример — установление возможности применения железомарганцевых конкреций в качестве сорбентов существенно повышает рентабельность их разработки, в то время как добыча с целью извлечения из них никеля, кобальта, меди, марганца по выполненным технико-экономическим расчетам характеризовалась нулевой рентабельностью.

Еще один пример — торий, не имеющий сегодня потребителей. В связи с этим минералы тория, извлекаемые попутно при отработке месторождений, либо выделяются в самостоятельные концентраты, как на россыпном месторождении платины Кондер, где ториевые концентраты специально захораниваются, либо рассеиваются в хвостах обогащения, как монацит на Малышевском месторождении. При переработке торийсодержащих минералов, как например, лопарита, ториевые растворы выделяются во главе процесса и подлежат захоронению. При появлении потребности в тории это будет выглядеть иначе.

**7. Разработка в законодательном порядке экономических стимулов с целью РИН.** Для этого, в первую очередь по важнейшим дефицитным полезным ископаемым, необходимо создание системы льготного кредитования и налогообложения, частичного или полного освобождения от платежей работ, направленных на восполнение сырьевой базы. Высвобождаемые средства следует использовать на инвестиции для РИН. Кстати, уже упомянутое 10-кратное увеличение добычи золота в США связано также с организационным фактором, заключающимся в создании большого числа мелких предприятий, реализующих известный за рубежом принцип 4×100 (около 100 трудящихся, 100 тыс. т в год добычи руды, 100 тыс. долларов капитальных вложений, 100 % рентабельность) [7].

В заключение можно привести высказывание А.С.Астахова «понятие качества минерального сырья имеет смысл применительно к определенному уровню технологического развития» [1]. Плохое качество минерального сырья может компенсироваться мерами по совершенствованию технологии добычи и переработки и другими мерами, о чем было ска-

зано выше. Геолог обязан не только открывать, но и «делать» месторождения. Именно геолог должен быть инициатором, катализатором идей, связанных с возможностями РИН. Впервые эта мысль была высказана еще В.М.Крейтером. Поэтому все пионерские разработки по новым технологиям добычи и переработки минерального сырья должны выполняться геологическими организациями или при их активном участии; маловероятно, чтобы горнодобывающие предприятия вкладывали деньги в новые технологии, если они уже не использовались успешно на объектах подобного типа.

Контроль за РИН должен осуществляться государством, что в той или иной форме делается во всем цивилизованном мире. Сегодня главным инструментом, позволяющим влиять на этот процесс, является лицензирование. В выдаче лицензий участвует до одиннадцати организаций, но от этой проблемы отстранены наиболее квалифицированные профессионалы — головные институты Роскомнедр и проектные институты горнодобывающих отраслей.

В лицензиях на разведку месторождения должна быть указана не просто необходимость их комплексного изучения, но и сформулированы конкретные задачи и методика их решения. Только при детальном изучении месторождения на современном научно-техническом уровне может быть составлен качественный проект его комплексного рационального использования. Лицензирование может и должно служить важнейшим экономическим рычагом для РИН.

Ухудшение качества минерального сырья — это неизбежный процесс, наблюдаемый во всем мире, поэтому только научно-технический прогресс в деле РИН позволит укреплять и развивать минерально-сырьевую базу страны.

L. Z. Bykhovsky, G. A. Mashkovtsev, B. G. Samsonov, Ye. M. Epshtein

#### RATIONAL SUBSURFACE USE AS A PRIMARY WAY TO ENHANCE THE QUALITY AND COMPETITIVENESS OF RUSSIA'S MINERAL BASE

*Ore deposits of Russia are just in rare cases competitive to their analogues abroad. The quality of national mineral base could be enhanced with the provision that it is in economical and all-round use on the basis of advanced technologies in geological prospecting, mining and processing of raw minerals, advancement of production process organization methods, with due account of domestic and world market conditions, and environmental consequences of mining activities.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов А.С. Экономика разведки, добычи и переработки полезных ископаемых (Геоэкономика). — М.: Недра, 1991.
2. Бабичев Н.И., Николаев А.Н. Скважинная технология — новый способ освоения земных недр // Горный журнал. 1995. № 1. С. 14—18.
3. Заборин О.В., Карпов А.В., Коткин В.А. Требования ГКЗ к изучению и прогнозированию радиометрической обогатимости руд при разведке и геолого-экономической оценке месторождений // Разведка и охрана недр. 1992. № 8. С. 6—7.
4. Изучение гранулометрического состава и контрастности полезных ископаемых для оценки возможности обогащения их с помощью радиометрических методов. — М.: ВИМС НСАМТИ. 1978.
5. Колибаба В.Л. Технология скважинной гидродобычи с обрушением руды и налегающих пород // Горный журнал. 1995. № 1. С. 19—22.
6. Комплексная геолого-экономическая оценка рудных месторождений (основы методики) / А.М.Быбочкин, Л.З.Быховский, Ю.Ю.Воробьев и др. — М.: Недра, 1990.
7. Мосинец В.Н. Горнодобывающие предприятия на пути к рынку: проблемы и решения (в порядке обсуждения) // Горный журнал. 1991. № 2. С. 10—13.
8. Нетрадиционные ресурсы минерального сырья / А.А.Арбатов, А.С.Астахов, Н.П.Лаверов, М.В.Толкачев. — М.: Недра, 1988.
9. Нетрадиционные решения в горной промышленности / А.А.Аверченков, В.Ж.Аренс, Ю.М.Арский и др. / Под ред. Ю.А.Черногова. — М.: Недра, 1991.
10. Орлов В.П. Развитие минерально-сырьевой базы России — на государственный уровень // Минеральные ресурсы России. 1993. № 2. С. 5—13.
11. Справочник технологическая оценка минерального сырья / Под ред. П.Е.Остапенко. — М.: Недра, 1990.
12. Тигунов Л.П. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы черной металлургии. Хромовые руды // Минеральные ресурсы России. 1994. № 6. С. 11—13.
13. Требования к изучению радиометрической обогатимости минерального сырья при разведке месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых. — М.: ГКЗ РФ. 1993. С. 25.
14. Чантурия В.А. Основные направления комплексной переработки минерального сырья // Горный журнал. 1995. № 1. С. 50—54.



## РОЛЬ АВЛАКОГЕНОВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ВЕП) В ФОРМИРОВАНИИ И РАЗМЕЩЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Д. И. ГОРЖЕВСКИЙ, А. И. ДОНЕЦ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Авлакогены Восточно-Европейской платформы в палеозойское время контролировали размещение ультраосновных-щелочных магматических пород, с которыми связаны карбонатиты с месторождениями магнетита, апатита, флогопита, тантало-ниобатов и редкоземельных элементов, а также алмазонасные кимберлиты. Эти же структуры были рудолокализирующими для месторождений медистых песчаников, свинцово-цинковых и ртутных руд, образование которых связывается с мобилизацией металлов из осадочных пород, попавших в область сравнительно высоких температур и давлений.*

Структуры, известные под названием авлакогенов, были впервые выделены Н.С.Шатским в 1955 г. Под термином авлакоген («бороздой рожденный») он понимал континентальные, генетически связанные с разломами грабенообразные структуры, расположенные между одинаковыми элементами платформ, один конец которых выклинивается в пределах платформы, тогда как другой уходит в смежную с платформой геосинклинальную зону.

Впоследствии А.А.Богданов [1] среди авлакогенов Восточно-Европейской платформы выделил три типа: 1) сквозные, пересекающие платформу; 2) поперечные, или «входящие»; 3) внутренние, затухающие на обоих концах внутри платформы.

В дальнейшем строению и развитию авлакогенов ВЕП были посвящены работы Р.Н.Валеева, Р.Г.Гарецкого, Е.Е.Милановского, И.М.Шахновского и ряда других исследователей.

Однако, благодаря тому, что многие авлакогены ВЕП перекрыты толщами более молодых отложений, они изучены еще далеко не достаточно. Некоторые из них рассматриваются различными исследователями как перикратонные прогибы, синеклизы и др.; одни и те же авлакогены разными авторами описываются под различными названиями и т.д.

В настоящее время относительно изучен

только Припятско-Днепровско-Донецкий авлакоген, в пределах которого проведен комплекс геофизических и исследований раскрывающих его глубинное строение. Сравнительно хорошо в этом авлакогене изучены и разведаны многочисленные месторождения газа и нефти, ряд работ посвящен месторождениям каменного угля, минеральных солей, ртути, меди, свинца, цинка, флюорита, бора и др. Изучению геологического строения и полезных ископаемых этого авлакогена благоприятствовало также то, что его Донецкий отрезок представляет собой современную горстовую структуру, лишенную мощного чехла мезо-кайнозойских отложений. В связи с этим Припятско-Днепровско-Донецкий авлакоген может рассматриваться, в определенной степени, как эталонный рифейско-палеозойский авлакоген ВЕП.

Большинство исследователей считает, что авлакогены ВЕП представляют собой палеорифты, геологическая история которых тесно связана со структурами обрамляющих эту платформу геосинклинальных областей.

Выделяются авлакогены северо-восточного (Вольно-Оршанский и Среднерусский), субширотного (Московский), северо-западного (Беломорский, Ладожский, Тиманский, Пачелмский, Припятско-Днепровско-Донецкий) и субмеридионального простираний (Кажимский и др.)

Ю.М.Эринчик и Е.Д.Мильштейн [20] отдельные авлакогены и грабены западной части ВЕП по геологическим и геофизическим данным объединяют в системы, выделяя при этом:

Центрально-Русскую сквозную структуру, прослеживающуюся через всю платформу с юго-запада на северо-восток;

Кольско-Двинскую краевую систему северо-западного простирания;

Днепровско-Донецкий и Пачелмский рифты, проникающие от юго-восточной окраины ВЕП в глубь платформы, но не распространяющиеся далее Центрально-Русской системы;

Воже-Лачский и Ладожский грабены-палеорифты, расположенные в центре и на северо-западе платформы и не выходящие к ее крайним частям (рис. 1).

В возрастном отношении большинством исследователей выделяются две группы авлакогенов: рифейские и палеозойские. Последние часто подвергаются прогибанию и заполнению осадками дважды — вначале в рифейское время, а затем, после длительного перерыва, в девонский и каменноугольный периоды палеозойской эры.

Рифейские авлакогены возникли в древнюю эпоху ВЕП и формировались, главным образом, на архейском фундаменте платформы. Они обнаруживают определенную унаследованность от линейных структур дорифейского кристаллического фундамента.

По данным геофизических исследований наиболее изученных авлакогенов, литосфера под ними утонена, раздел Мохо образует антиклинальный выступ, который возвышается над окружающей авлакоген земной корой на 7—10 км [8, 10, 13]. В то же время осадочный слой в авлакогенах имеет большую мощность по сравнению с окружающими структурами. Это происходит за счет утонения гранитного слоя земной коры, что благоприятствует накоплению в осадках металлоносных рассолов.

В авлакогенах ВЕП, так же как и в современных рифтах Европы, скорости сейсмических волн в верхней части мантии (на уровне раздела Мохо) пониженные — 7,8 км/сек, в то время как под окружающими авлакогенами структурами они составляют 8,1—8,3 км/сек. Эти данные интерпретируются как наличие под авлакогенами в верхней мантии разуплотненных астеносферных выступов — диапиров коро-мантийной смеси [4].

Авлакогены теснейшим образом связаны с формированием разломов, которые ограничивают их с обеих сторон, осложняют внутреннее строение, а также часто пересекают и смещают отдельные отрезки, обуславливая разную геологическую историю этих сегментов. Разломы, обрамляющие авлакогены, представлены, главным образом, раздвигами различной амплитуды. Они часто служили каналами для разгрузки металлоносных рассолов.

Рифейские авлакогены выполнены комплексом отложений нижнего, среднего и верхнего рифея и нижнего венда. В каждом конкретном авлакогене или составляющем его грабене наблюдается либо полный разрез рифейских и нижневендских отложений, либо часть этого разреза. Мощность всех этих отложений колеблется от нескольких сотен метров до 3—5 км и более. Отложения представлены, главным образом, красноцветными и сероцветными олигомиктовыми и аркозовыми песчаниками, гравелитами и терригенно-карбонатными породами. Подчиненную роль играют базальты и их туфы [9, 13].

Второй этап тектоно-магматической активизации ВЕП произошел в средне-позднедевонское время. Он выразился в возобновлении движений по разломам, расширении некоторых авлакогенов, наращивании их простиранию и заполнении комплексом осадочных и вулканогенных отложений. В этот период подвижки, прогибание и осадконакопление отмечаются лишь в некоторой части рифейских авлакогенов (Припятско-Днепровско-Донецкий, Вятский, Тиманский, Беломорский и др.).

Отмирание рифейских авлакогенов фиксируется образованием на их головах плоских синеклиз, выполненных отложениями верхнего венда, знаменующего плитный этап развития ВЕП, а девонских — отложениями верхнего палеозоя. Однако следует отметить, что над некоторыми отрезками авлакогенов в этот период сформировались инверсионные поднятия, что объясняется сменой процессов растяжения авлакогенов их сжатием. Примером таких поднятий является Донецкий сектор Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена, отделенный от северо-западной (Днепровской) и юго-восточной (Мангышлакской) частей авлакогена глубинными поперечными разломами. Донецкий сектор в позднепалеозойское и мезо-кайнозойское время



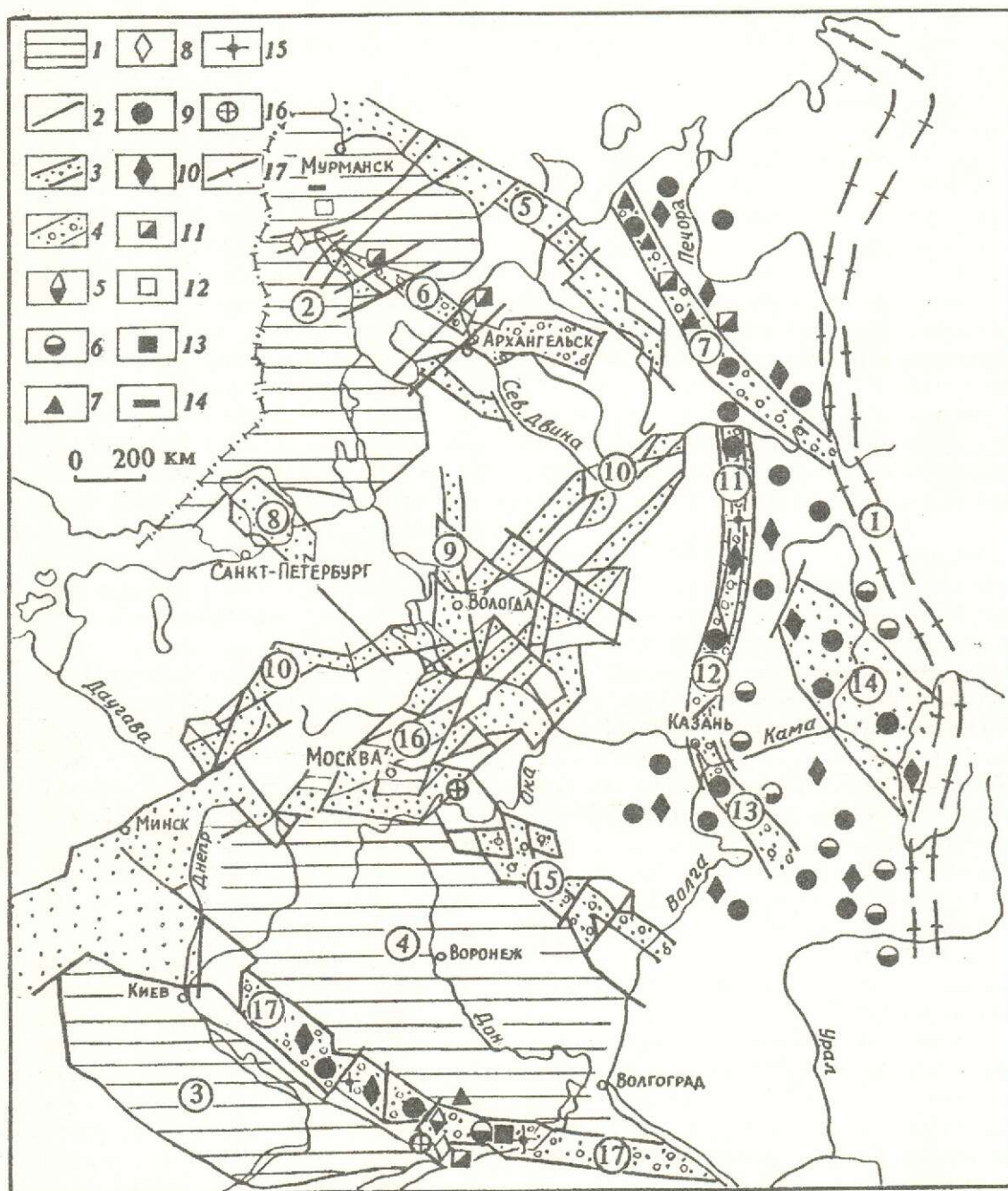


Рис. 1. Схема размещения авлакогенов и некоторых месторождений и проявлений полезных ископаемых Восточно-Европейской платформы:

1 — выступы фундамента; 2 — глубинные разломы; 3 — грабены, выполненные рифейскими отложениями; 4 — грабены, выполненные рифейско-палеозойскими отложениями; 5 — ртутные; 6 — медистых песчаников; 7 — свинцово-цинковые; 8 — редкометальных карбонатитов; 9 — газонефтяные; 10 — природных битумов; 11 — алмазосных кимберлитов; 12 — апатитовых руд; 13 — золото-кварцево-сульфидной формации; 14 — медно-никелевые; 15 — битум-карбонат-сульфидной формации; 16 — флюоритовые; 17 — граница Предуральского краевого прогиба. Цифры в кружках: 1 — Предуральский краевой прогиб; 2 — Балтийский шит; 3 — Украинский кристаллический массив; 4 — Воронежский массив; авлакогены: 5 — Мезенский; 6 — Онежско-Кандалакшский; 7 — Тиманский; 8 — Ладожский; 9 — Воже-Лачский; 10 — Среднерусский; 11 — Кажимский; 12 — Кировско-Казанский; 13 — Радаевско-Абдулинский; 14 — Калтасинский; 15 — Пачелмский; 16 — Московский; 17 — Припятско-Днепровско-Донецкий

преимущественно поднимался, в то время как Днепровский и Мангышлакский секторы — развивались в режиме прогибания. Это способствовало разгрузке металлоносных рассолов и формированию месторождений и проявлений полезных ископаемых в отложениях верхнепалеозойского этажа Донецкого сектора.

Процесс формирования авлакогенов, по мнению некоторых исследователей [18, 19 и др.], представляется в следующем виде. Вначале над горячим астенолитом происходит растрескивание литосферы и образование систем разломов. Затем, в результате растекания мантийного материала вдоль подошвы земной коры в противоположных направлениях, образуется раздвиг с растеканием блоков, а в поверхности фундамента формируется зона дифференцированных опусканий, заполнявшаяся рифтогенными комплексами. Перераспределение масс в нижней части коры и верхней мантии обуславливает изменение положения границы Мохо.

По мере остывания астенолита и уменьшения его объема, рифтообразование прекращается, а затем процессы расширения сменяются сжатием с деформацией пород рифтогенного комплекса. Последующее остывание и уплотнение вещества мантии под отмирающей палеорифтовой зоной приводит к опусканию земной поверхности и формированию пострифтовых синеклиз. Окончательное охлаждение и уплотнение астенолита вызывает сжатие палеорифта и формирование инверсионных поднятий.

Предшествующие исследователи рассматривали авлакогены как палеорифты, прекратившие свое развитие в среднем палеозое, однако в последние годы появились данные, свидетельствующие о том, что, по крайней мере, некоторые из авлакогенов ВЕП испытывали развитие как рифтогенные структуры в мезозойское, а возможно, даже в кайнозойское время. Это подтверждается данными о существовании Южно-Московского рифта в позднеюрское и меловое время (рис. 2) [14], а также сведениями о меловом (91—97 млн. лет) возрасте золоторудных проявлений в восточной части Донецкого бассейна и, наконец, многочисленными примерами о триасово-юрском возрасте ртутных и свинцово-цинковых месторождений Донецкого бассейна (около 200 млн. лет) [16, 17 др.]. Об этом же,

вероятно, свидетельствует существование современных тепловых полей, установленных, например, в Припятском грабене. Контуры таких полей подчиняются обрамлениям грабена, где локализуются палеозойские газонефтяные месторождения (рис. 3).

Как уже установлено, газонефтяные месторождения ВЕП, аналогично месторождениям Северо-Американской и Австралийской платформ, локализуются как в рифтовых комплексах палеозоя, так и в синеклизах пострифтового чехла, формирующихся, главным образом, над девонскими авлакогенами, т.е. в условиях существования плитного чехла платформы. Наличие экранов, роль которых часто играют соленосные отложения, и пластов пористых пород (коллекторов) определяют положение и распространение нефтегазоносных комплексов, а разломы авлакогенов служат путями движения флюидов и оказывают влияние на формирование и переотложение залежей нефти и газа.

По мнению И.М. Шахновского [19], рифтогенные комплексы рифейских авлакогенов, завершивших свое развитие на доплитном этапе (Среднерусский, Пачелмский и др.), мало перспективны для поисков газонефтяных месторождений. В отличие от них, авлакогены, продолжавшие развитие на плитном этапе, нередко представляют собой нефтегазоносные структуры (Припятско-Днепровская, Печоро-Колвинская, Варандей-Адэвинская и др.). Здесь нефтегазоносные комплексы локализуются как в породах, выполняющих авлакогены, так и, более часто, в пострифтовых комплексах перекрытия. Основной тип ловушек в комплексах выполнения авлакогенов — моноклиналильные блоки, ограниченные разломами. В комплексах перекрытия они связаны со структурами облекания, приуроченными к инверсионным поднятиям, осложненным разломами.

Причиной локализации газонефтяных месторождений в авлакогенах и перекрывающих их синеклизах может быть обилие органического вещества в терригенных и карбонатных отложениях, выполняющих авлакогены. Вероятно, процессы катагенеза в глубоководных нижних частях авлакогенов приводят к миграции органического вещества и образованию месторождений нефти, газа и природных битумов, причем если образующиеся газовые и нефтяные залежи не ассоциируются со скоплениями руд,



Рис. 2. Тектоническая схема размещения месторождений полезных ископаемых в пределах Припятско-Днепро-Донецкого авлакогена (использованы материалы В.Г.Чайкина, В.А.Шумлянского и др.):

1 — границы сегментов Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена; 2 — сегменты авлакогена (1 — Припятский, 2 — Днепровский, 3 — Донецкий, 4 — Карпинского); месторождения и проявления: 3 — стратиформные свинцово-цинковые в каменноугольных отложениях; 4 — свинцово-цинковые, связанные с соляными диапирами; 5 — свинцово-цинковые жильные; 6 — флюоритовые; 7 — боратов; остальные усл. обозн. см. рис. 1

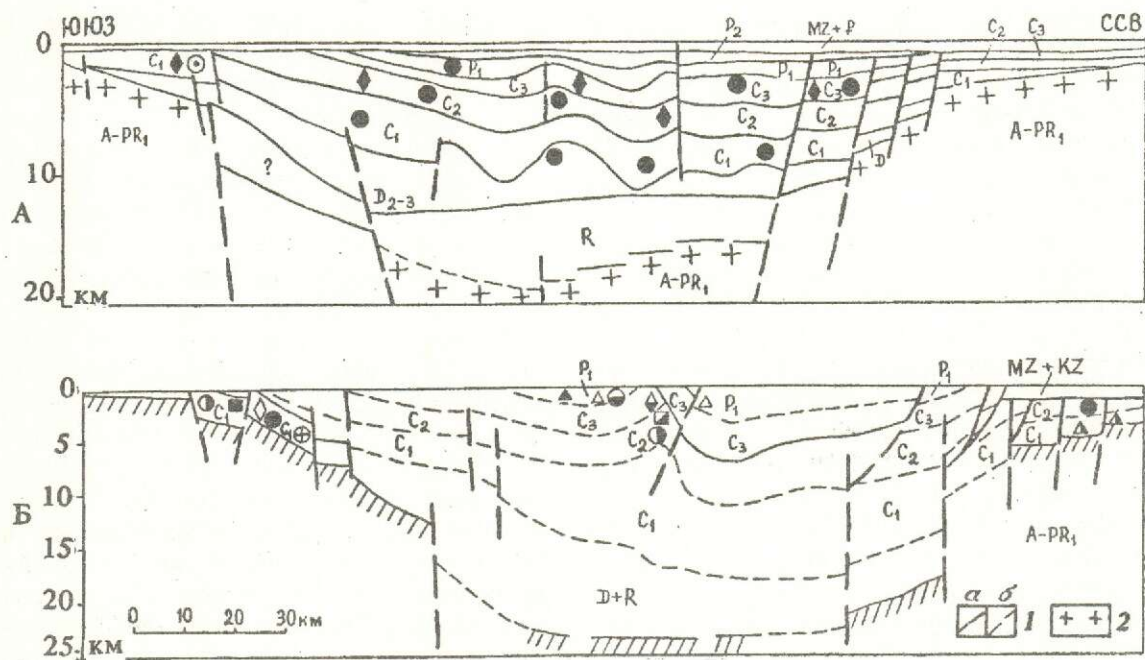


Рис. 3. Схематические разрезы Днепровско-Донецкого авлакогена (А — Днепровский сегмент, Б — Донецкий):

1 — разломы: а — установленные, б — предполагаемые; 2 — породы кристаллического фундамента; остальные усл. обозн. см. рис. 1

то природные битумы часто формируют комплексные рудно-битумные ассоциации, хорошо изученные в Днепровско-Донецком авлакогене [6, 16].

Общеизвестен комплекс экзогенных полезных ископаемых, связанных с авлакогенами ВЕП: каменный уголь, каменные и калийные соли, бораты, самородная сера, флюорит и др. В работах [5, 19] показана связь месторождений этих полезных ископаемых с авлакогенами ВЕП. На первой стадии развития авлакогенов вместе с осадками накапливаются каменные угли, соли и органическое вещество. На второй — формируются углеводороды и рассольные воды. Затем на инверсивной стадии мигрирующие рассолы мобилизуют металлы из вмещающих пород, а в участках их разгрузки (обычно вблизи долгоживущих разломов) образуются свинцово-цинковые, ртутные и золото-рудные месторождения.

В последние годы получены новые данные о связи с авлакогенами ВЕП и алмазосодержащих кимберлитов [3, 21 и др.]. Так, по данным [21], авлакогены продуцируют магматические породы, причем в их центральной, более открытой части, формируются магматические породы базальт-диоритовой, трахибазальтовой и трахибазальт-андезитовой формации, а в краевых зонах — выступах докембрийского фундамента — щелочно-ультраосновные породы с карбонатитами и кимберлитами. В качестве примеров кимберлитовых полей, связанных с авлакогенами ВЕП, можно привести Золотитское кимберлитовое поле, расположенное на юго-западном борту Беломорского авлакогена, кимберлиты Терского берега Кольского полуострова, локализующиеся на юго-западном фланге этого же авлакогена, кимберлиты Приазовья, приуроченные к юго-восточному и северо-западному флангам Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена.

В результате длительного изучения провинций и месторождений алмазов В.И.Ваганов и др. [3] установили, что главными признаками для выделения минерагенических алмазоносных зон являются высокопроницаемые структуры, неоднократно активизирующиеся и контролируемые проявление коро-мантийного энерго-массопереноса. Алмазоносные зоны разбиты серией продольных разломов большой глубины заложения, ограничивающих и осложняющих эти струк-

туры. Многократная смена тектонического режима (от растяжения к сжатию и наоборот), насыщенность разновозрастными дайкообразными и штокообразными телами и трубками взрыва основного, ультраосновного и ультраосновного-щелочного состава, образующих пояса, многостадийное проявление динамометаморфизма — главные признаки алмазоносных зон, развивающихся на платформах.

В.И.Ваганов и др. [3] выделяют три типа минерагенических зон. Первый из них представляет собой зоны скрытых разломов фундамента, к которым приурочены классические кимберлиты с крупными месторождениями алмазов. К этому типу относится и Далдын-Алакитский район Якутии. Зоны второго типа размещаются в плечевой части рифтов, охватывающей область периферии основного грабена, и имеют горст-грабеновое строение, отражающееся и в породах чехла. К этому типу относятся кимберлит-лампроитовые ассоциации, в частности, месторождения Зимнего берега и Кольского полуострова. Наконец, третий тип зон обладает резко дифференцированным блоковым строением. Он формируется в центральных грабеновых структурах в условиях преобладания восходящих тектонических движений. Для зон этого типа характерны породы лампроитового ряда, представленные слабо алмазоносными ультрамафитовыми лампрофирами.

С некоторыми авлакогенами ВЕП ассоциируют интрузии ультраосновных-щелочных и собственно щелочных пород. С первыми связаны карбонатиты и сопровождающее их тантал-ниобиевое оруденение. Такие карбонатиты установлены в пределах Кандакшского (Беломорского) (месторождение Ковдор) и Припятско-Днепровско-Донецкого (месторождения Приазовского массива) авлакогенов. В этих же районах известны собственно щелочные породы и ассоциирующие с ними месторождения апатитов (Хибины) или флюорита (Волновахская зона Донецкого грабена). Массивы ультраосновных-щелочных и щелочных пород обычно локализируются за пределами грабенов, составляющих авлакогены, но вблизи последних, и внедряются в эпохи максимального разогрева авлакогенов. По всей вероятности, они представляют собой продукты глубоких мантийных магматических очагов.

В последнее время становится очевидным, что авлакогены контролируют размещение и рудных месторождений определенных геолого-генетических типов (см. рис. 1). Это касается стратиформных свинцово-цинковых месторождений, локализующихся в карбонатных отложениях раннекаменноугольного возраста на северо-восточном борту Днепровско-Донецкого авлакогена (Марковское рудное поле), жильных свинцово-цинковых месторождений Нагольного кряжа, а также рудопроявлений, локализованных в пермских отложениях, перекрывающих Днепровско-Донецкий авлакоген [11]. Кроме того, известны свинцово-цинковые рудопроявления этого типа в Тиманском, Волыно-Подольском и Камско-Бельском авлакогенах.

Вероятно, что и месторождения медистых песчаников ВЕП в определенной степени контролируются авлакогенами. Так, многочисленные мелкие месторождения и рудопроявления медистых песчаников локализируются в пермских отложениях, перекрывающих Днепровско-Донецкий авлакоген, и в отложениях того же возраста, перекрывающих Камско-Бельский авлакоген в восточной части Русской плиты.

Особое внимание должно быть уделено прогнозу и поискам в пределах ВЕП золоторудных месторождений. Это обусловлено, прежде всего, наличием многочисленных и нередко крупных месторождений золота на других платформах — Северо-Американской, Африканской, Австралийской, Сибирской и др. В настоящее время в пределах ВЕП не известны крупные месторождения золота, однако изучение многочисленных рудопроявлений и открытие в самое последнее время промышленных месторождений этого металла дают основание для весьма оптимистической оценки перспектив ВЕП в этом отношении.

Среди разнообразных рудноформационных типов золоторудных и россыпных проявлений золота в пределах ВЕП первоочередное внимание привлекают следующие:

1. Золоторудные месторождения в зеленокаменных поясах позднеархейского возраста, эксплуатирующиеся на многих древних платформах. Существование таких месторождений в пределах Российской части ВЕП (Карелия, Воронежский массив) подтвержда-

ется недавним открытием месторождений подобного типа в пределах Украинского кристаллического щита (Широкая Балка и др.), а также в западной части Балтийского щита на территории Финляндии. Рассматривая проблему перспектив золотоносности щитов ВЕП, нельзя не упомянуть наличие золота в железорудных месторождениях типа железистых кварцитов и, в частности, в рудах КМА. Большие запасы таких руд обуславливают необходимость создания экономически выгодного метода извлечения золота.

2. Золоторудно-полиметаллические рудопроявления в каменноугольных и известково-песчано-сланцевых отложениях авлакогенов. Пока такие рудопроявления известны только в пределах Донбасского сегмента Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена. Это жилы и линзы прожилково-вкрапленных руд, сложенных кварцем, карбонатами со сфалеритом, галенитом и пиритом (рудопроявления Острогорское, Бобриковское, Керчическое и др.). Промышленные концентрации золота распространены в жилах и прожилках не повсеместно, а обычно обогащают только отдельные вертикальные интервалы, расположенные на глубине от 100 до 700 м [9].

Наиболее интересные геологические данные получены в последние годы на Керчическом рудопроявлении, расположенном в восточной части Донецкого угольного бассейна на территории Ростовской области [7, 15]. Рудопроявление локализуется в песчаниках и глинистых сланцах каменной свиты ( $C_2^4$ ), содержащих редкие прослои известняков и углей, перекрытых глауконитовыми песками палеогена и неогена. Палеозойские отложения прорваны силлами трахиандезитов и андезито-базальтов среднеюрского возраста [15], а также еще более молодыми дайками лампрофиров раннемелового возраста. Терригенные отложения в поле развития субинтрузивных тел превращены в биотитовые и кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты, известняки скарнированы, а пласты угля замещены массивными пирит-пирротиновыми рудами с амфиболом и пироксеном. Оруденение наложено на метасоматические породы, содержит высокие концентрации золота и приурочено к прожилкам, рассекающим метасоматиты.

3. Стратиформная золотая минерализация в тесной пространственно-временной

связи с битуминозными известняками, песчаниками, алевролитами и аргиллитами ордовикского, каменноугольного, пермского и триасового возраста, развитыми в прогибах востока ВЕП в пределах нефтегазоносных провинций. И.Ф.Мигачев и др. [12] в качестве примеров упоминают проявление золота в битуминозных мергелях, глинах и алевролитах девона Волго-Уральской и Воронежской антеклиз, а также в богатых углистым веществом доломитах ( $C_1$ ) Московской синеклизы.

4. Палеороссыпи золота. Из 150 россыпей проявлений, установленных в настоящее время в пределах ВЕП, около 35% относятся к этой группе. Среди палеороссыпей наиболее перспективными считаются россыпи в конгломератах западного склона Урала (Кажимская площадь), девонские россыпи Тимана, содержащие кроме золота еще алмазы и танталониобаты, а также мезо-кайнозойские циркониевые россыпи, в которых кроме циркона, рутила, граната и ильменита нередко содержится золото в концентрациях от 0,15 до 218 г/т и выше [12].

5. Современные россыпи, представленные, главным образом, четвертичными грубообломочными отложениями ледникового, водноледникового и аллювиального генезиса, которые широко используются для дорожного строительства и производства стройматериалов. Кроме золота в таких россыпях в разных количествах присутствуют магнетит, циркон, ильменит, рутил, титаномагнетит. Наиболее широко такие золотосодержащие рудопоявления распространены на Воронежской, Московской, Камо-Северодвинской и Тиманской площадях. Золото концентрируется в пластах мощностью до 1 м с содержанием мелкого золота от 10 до 700 мг/м<sup>3</sup>. Как установлено технологическими исследованиями, это золото может с большим экономическим эффектом извлекаться при добыче стройматериалов.

Закономерности размещения месторождений различных рудноформационных типов, полученные при минерагеническом изучении сравнительно хорошо опосредованного Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена (см. рис. 1, 2, 3), могут многое подсказать при изучении других, менее исследованных авлакогенов ВЕП. Этот авлакоген системой поперечных глубинных разломов разбит на четыре крупных сегмента: Припятский, Днепровский, Донецкий и Карпинского, отличающихся один

от другого геологическим строением, историей развития и минерагенией. Припятский и Днепровский сегменты (блоки) выполнены сравнительно маломощным комплексом осадочно-вулканогенных и осадочных (в т.ч. и соленосных) отложений девонского и каменноугольного возраста. Породы в слабой степени подвергнуты катагенетическим преобразованиям. Упомянутые блоки не испытывали инверсионных поднятий и, в отличие от Донецкого блока, подвергались слабому прогибанию в верхнем палеозое, мезозое и кайнозое.

В минерагеническом отношении эти структуры характеризуются широким распространением месторождений каменной и калийной солей, боратов и газонефтяных месторождений. Последние локализуются, главным образом, в верхней части комплекса отложений, выполняющих авлакоген, в каменноугольных и более молодых образованиях.

Среди других типов минеральных проявлений следует упомянуть здесь проявления битум-карбонатно-сульфидной формации, образующей серию штокверковых тел, а также развитой в брекчиях, сопровождающих многочисленные солевые диапиры, широко распространенные в палеозойских отложениях. Минеральные ассоциации битум-карбонатно-сульфидной формации слагают цемент брекчий и образуют серию секущих ее прожилков. Последние состоят из твердых, вязких и жидких битумов, карбонатов, пирита, сфалерита, галенита, флюорита, киновари и других более редких сульфидов.

Донецкий авлакоген существенно отличается от Припятского и от Днепровского историей развития. По геофизическим данным [6] он выполнен не только палеозойскими, но и подстилающими их рифейскими отложениями. Мощность палеозойских отложений в центральной части блока огромная (местами более 20 км) — на порядок выше синхронных отложений Припятского и Днепровского грабенов. Отложения сжаты в линейные складки, подвергнуты, большей частью, сильному катагенезу (вплоть до антрацитовой стадии углей) и разбиты многочисленными продольными и поперечными разломами. Начиная с позднепермского времени, Донецкий блок испытывал интенсивные инверсионные поднятия и не подвергался существенному прогибанию в мезо-кайнозое.

Газонефтяные месторождения в пределах Донецкого блока распространены незначительно. Среди нерудных полезных ископаемых главную роль играют каменный уголь и минеральные соли, подчиненную — проявления флюорита (Волновахское), связанные со щелочными породами, и редкометалльные карбонатиты, ассоциирующие с ультраосновными-щелочными породами. Эти породы вместе с карбонатитами располагаются в пределах Приазовского блока Украинского щита, но в непосредственной близости к авлакогену, и тесно связаны с формированием магматических пород Донецкого блока.

На северо-восточном борту Донецкого блока выявлена серия свинцово-цинковых рудопроявлений (Валуйско-Марковская зона), вскрытых многочисленными буровыми скважинами. Рудопроявления приурочены к известково-доломитовым отложениям намюрского и башкирского ярусов карбона и представляют собой жильные тела и метасоматические залежи прожилково-вкрапленных руд в эпигенетических доломитах. Главные минералы руд представлены пиритом, сфалеритом, галенитом, кальцитом, доломитом, флюоритом, кварцем, баритом и битумами. Рудопроявления очень напоминают по составу руд месторождения Мидконтинента в США и Верхней Силезии в Польше. Возраст оруденения, по данным изотопии, — 200 млн. лет, что отвечает позднему триасу.

Внутри Донецкого блока локализуются свинцово-цинковые, медные и ртутные месторождения. Магматические породы вблизи них отсутствуют. Среди свинцово-цинковых преобладают месторождения жильного типа. Они ранее разрабатывались и представлены (Есауловское, Центрально-Нагольчанское, Нагольно-Тарасовское и др.) кварц-анкеритовыми жилами и прожилками со сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, буланжеритом, бурнонитом, пиритом и тетраэдритом. Встречаются и золотосодержащие месторождения золото-мышьяковой субформации (Бобриковское, Керчикское и др.). Возраст месторождений, по данным изотопных методов, около 200 млн. лет.

Другим типом свинцово-цинкового оруденения является свинцово-цинковая минерализация, связанная с солевыми диапирами, расположенными в северо-западной части Донецкого блока, где уменьшаются мощности

палеозойских отложений и линейная складчатость сменяется брахиформной (Бахмутская и Кальмиуская котловины). Здесь установлено несколько месторождений (Славянское, Новодмитриевское и др.), в которых свинцово-цинковая минерализация вместе с битумами цементирует брекчии диапиров, развитых в отложениях позднекаменноугольного и пермского возраста.

На северном продолжении Главной антиклинали Донбасса, севернее упомянутых выше свинцово-цинковых жильных месторождений, в каменноугольных отложениях располагается хорошо известное Никитовское ртутное месторождение, а в отложениях перми в кепроках соляных куполов — Славянское и другие месторождения Дружковско-Константиновского рудного поля.

Анализ геологического строения Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена, а также закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых позволяет представить историю формирования этих месторождений в рассматриваемом регионе.

Наиболее древними рудными скоплениями Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена, по-видимому, являются редкометалльные карбонатиты и флюоритовые рудопроявления, связанные с ультраосновными-щелочными и щелочными породами позднедевонского возраста (360—300 млн. лет) [16].

В среднекаменноугольное время началось формирование угольных месторождений Донбасса. С конца каменноугольного периода наблюдается превращение Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена в синеклизу; в этот период морские отложения сменяются красноцветными континентальными.

В раннепермское время формируются рудопроявления медистых песчаников Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловины и связанная с ними рассеянная свинцово-цинковая минерализация. В Днепровском грабене в это время началось формирование медного оруденения, связанного с диапировыми брекчиями соляных куполов, а в Припятском грабене с этим периодом ассоциируется содоносная формация (давсонитовая минеральная ассоциация) [17].

В позднепермское-триасовое время в Донецком грабене происходят процессы инверсии, сопровождающиеся сжатием и внедрением мелких штоков и даек базальтов, андези-

тов, дацитов, трахиандезитов и трахидаци- тов. В конце этого периода формировались главные сульфидные месторождения Донецкого грабена: ртутные (около 200 млн. лет), свинцово-цинковые жильные Нагольного кряжа ( $200 \pm 20$  млн. лет), стратиформные свинцово-цинковые Валуйско-Марковской зоны (200 млн. лет) и, наконец, многочислен- ные проявления битум-карбонатно-сульфид- ной формации, представленной флюорит-кар- бонатным, битум-карбонатным, битум-кар- бонатно-полиметаллическим и целестин- карбонат-серным типами, содержащими ант- раксолит, керит, кальцит, монтмориллонит, пирит, молибден, золото, киноварь. Возраст проявлений битум-карбонат-сульфидной формации, широко распространенных в До- нецком и Днепровском грабенах, составляет  $195 \pm 5$  млн. лет [16]. В качестве другого примера связи эндогенных месторождений с авлакогенами можно привести Кандалакш- ский (Беломорский) авлакоген, который кон- трольрует размещение щелочных и ультраос- новных-щелочных пород (см. рис. 3). С ще- лочными породами связано Хибинское месторождение апатитов, а с ультраосновны- ми-щелочными на юго-западном борту авла- когена — редкометальные тантало-ниобиевые месторождения (Ковдор) и алмазоносные кимберлиты.

Таким образом, авлакогены ВЕП контро- лируют размещение самых различных типов месторождений полезных ископаемых. Неко- торые эндогенные месторождения, связанные с авлакогенами, ассоциируют с магматически- ми породами ультраосновного-щелочного и щелочного состава. Массивы таких пород ло- кализуются обычно в бортах авлакогенов, среди пород обрамления.

С ультраосновными-щелочными порода- ми связаны карбонатиты с тантало-ниобие- вым, редкоземельным и апатитовым орудене- нием (Ковдор — вблизи Кандалакшского ав- лакогена и рудопоявления Приазовского района в краевой части Припятско-Днепров- ско-Донецкого авлакогена), а также кимбер- литы с месторождениями алмазов (Кандалак- шский, Тиманский и Припятско-Днепровско- Донецкий авлакогены). Со щелочными породами тесно ассоциируют месторождения апатита (Хибины) и флюорита (Волновихское рудное поле Донецкого грабена).

Все вышеупомянутые магматические поро-

ды, вероятно, сформировались из глубинных магматических очагов в связи с проникно- вением в создающиеся авлакогены астено- литов, поглотивших значительную часть гранитно-метаморфического слоя земной коры.

В это же время во внутренней части авлакогенов формировались многочисленные излияния и извержения основных пород типа базальтов и долеритов. Однако, большая часть месторождений, связанных с авлакогенами, в том числе газовые, нефтяные, свинцово-цин- ковые, медистых песчаников, ртутные и дру- гие не обнаруживают прямой связи с магма- тическими породами. Они, видимо, являются продуктами веществ, мобилизованных рассу- лами из вулканогенно-осадочных отложений нижних горизонтов авлакогенов в условиях относительно высоких температур и давлений и отложившихся в более высоких горизонтах при уменьшении этих параметров.

Доказательством существования повы- шенных тепловых и барических полей в ав- лакогенах являются повышенные темпера- турные поля и аномально высокие пластовые давления (АВПД), сохранившиеся и в насто- ящее время. Так, изучение девонских отло- жений Припятского грабена показало, что изотермы среза 3000 м вытянуты параллельно бортам грабена, а максимальные температу- ры, превышающие  $80^\circ\text{C}$ , фиксируются в уз- кой зоне этого грабена, характеризующегося также максимальными значениями АВПД. В этом же поле размещаются промышленные месторождения нефти (рис. 4).

Таким образом, авлакогены ВЕП в ри- фейское и девонско-каменноугольное время, вероятно, играли роль энергетической ма- шины, которая передавала от астенолитов тепловую и механическую энергию, способ- ствававшую, с одной стороны, формирова- нию ультраосновных и щелочных пород мантийного происхождения, с которыми связаны месторождения карбонатитов, ал- мазов и апатита, а с другой — мобилизации органического и рудного вещества из отло- жений авлакогенов, попавших в область сравнительно высоких температур, и пере- отложению этого вещества в участках сни- жения температур и давлений с образовани- ем газонефтяных, свинцово-цинковых, мед- ных и ртутных месторождений.

Поэтому в фанерозое авлакогены были



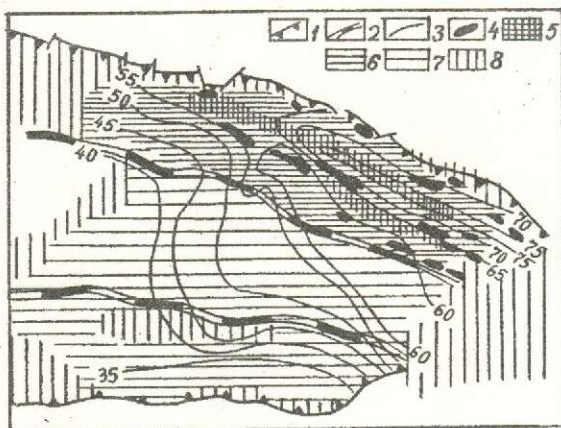


Рис. 4. Схематическая термобарическая карта девонских отложений Припятской впадины (составил В.И. Печерников, 1993):

1 — краевые разломы; 2 — региональные межзональные разломы; 3 — изотермы среза 3000 м; 4 — залежи нефти; значения коэффициента  $P_{пл}/P_{усл.гидр.}$  для межсолевых отложений: 5 — >1,3; 6 — 1,2—1,3; 7 — 1,1—1,2; 8 — <1,1

одновременно рудообразующими и рудолокализирующими структурами — концентраторами многих типов месторождений полезных ископаемых ВЕП. При этом если газонефтяные месторождения локализуются, главным образом, в условиях пострифтового прогибания грабен и авлакогенов, то сульфидные рудные месторождения свинца, цинка, меди и ртути (насколько это можно судить по Припятско-Днепровско-Донецкому и Тиманскому авлакогенам) формируются в участках развития инверсионных поднятий, создавших горстовые структуры. Именно участки инверсионных поднятий авлакогенов являются наиболее важными структурами при поисках многих типов эндогенных месторождений твердых полезных ископаемых на Восточно-Европейской платформе.

Важное значение для локализации рудных месторождений в авлакогенах ВЕП имеют участки пересечения продольных и поперечных глубинных разломов. Под продольными разломами обычно подразумевают глубинные разломы, ограничивающие авлакогены, а также разломы, расположенные во внутренних частях авлакогенов и ориентированные согласно с их простиранием. Поперечные разломы пересекают авлакогены и

вещающие их структуры фундамента. Они нередко разделяют авлакогены на сегменты или блоки с различной степенью прогибания, разным типом земной коры, специфической историей развития и, что особенно важно, с разной минерализацией.

Хорошим примером поперечных глубинных разломов являются поперечные разломы Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена (Криворожско-Комаричский, Жмеринско-Старобельский и др.). Как установлено рядом исследователей [6, 17], эти разломы приурочены к седловидным поднятиям, разделяющим сегменты Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена, которые характеризуются резко уменьшенной мощностью отложений, выполняющих грабены, и неглубоким залеганием кристаллического фундамента.

Именно зоны пересечений продольных и поперечных разломов в Припятско-Днепровско-Донецком авлакогене являются участками локализации рудных месторождений, а также, по данным Н.А. Озеровой, газоконденсатных месторождений с повышенными концентрациями ртути в газовой составляющей.

То же самое наблюдается и в Кандалакшском (Беломорском) авлакогене (см. рис. 3), где месторождения редкометалльных карбонатитов, апатитсодержащих руд и алмазонасных кимберлитов локализуются в узлах пересечения продольных и поперечных глубинных разломов.

Таким образом, важнейшими структурами, локализующими месторождения как рудных, так и многих нерудных полезных ископаемых ВЕП, в том числе апатитов, алмазов, нефти и газа являются:

авлакогены, испытавшие неоднократную активизацию в фанерозе;

зоны инверсионных поднятий в таких авлакогенах (для многих типов месторождений твердых полезных ископаемых);

участки пересечения в авлакогенах и их прибортовых частях продольных и поперечных глубинных разломов.

К этому следует добавить, что многие авлакогены продолжили свое существование как рифтовые структуры не только в палеозое, но и в мезо-кайнозое, и в связи с этим ряд рудных месторождений формировался в мезозойскую, а, возможно, даже в кайнозойскую эру. Поэтому следует обратить вни-

мание на степень перспективности не только верхнепалеозойских, но и мезо-кайнозойских отложений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов А.А. О некоторых общих вопросах тектоники древних платформ (на примере Восточно-Европейской платформы) // Советская геология. 1964. № 9. С. 3—28.
2. Белоусов В.В. Взаимоотношения верхней мантии и коры и состояние тектоносферы. — М.: Наука, 1991.
3. Ваганов В.И., Варламов В.А., Фельдман А.А. и др. Прогнозно-поисковые системы для месторождений алмазов // Отечественная геология. 1996. № 3. С. 78—91.
4. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Астапенко В.Н. Тектоносфера западной части Восточно-Европейской платформы // Геологический журнал. 1993. № 3. С. 78—91.
5. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. I. (Русская платформа). — Л.: Недра, 1985.
6. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. — Киев, Наукова думка, 1988.
7. Грановская И.В. Морфология и генетические особенности Керчического рудопоявления золота // Проблемы геологии, оценки и прогноза полезных ископаемых юга России. — Новочеркасск, 1985. С. 35—36.
8. Егоров А.С. Строение литосферы севера Евразии вдоль сводного геотраверса Мурманск-Березово-Кочечум // Региональная геология и металлогения. 1993. № 1. С. 25—41.
9. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Книга I. — М.: Недра, 1990.
10. Магматизм и металлогения рифтогенных систем восточной части Балтийского щита. — СПб.: Недра, 1993.
11. Металлогения фанерозоя платформенной части Украины / Гойжевский А.А., Скаржинский В.И., Шумлянский В.А. и др. — Киев: Наукова думка, 1984.
12. Мигачев И.Ф., Кальниченко С.С., Романчук А.И. Перспективы золотоносности Восточно-Европейской платформы // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 53—57.
13. Милановский Е.Е., Никишин А.М., Горбачев В.И. и др. Развитие рифтогенных и пострифтовых осадочных бассейнов Восточно-Европейской платформы и смежных метаплатформенных областей в позднем протерозое и фанерозое // Тектоника осадочных бассейнов. — М., 1995. С. 120—124.
14. Михайлов А.Е. Об активности Южно-Московского рифта в мезозое и кайнозое // Изв. вузов. Сер. геология и разведка. 1993. № 6. С. 152—156.
15. Терентенко Н.А., Лихачев В.А., Зеленищikov Г.В., Кузнецов Ю.А. Литолого-структурные условия локализации цветных и благородных металлов на Керчическом рудопоявлении // Геологическое строение и полезные ископаемые Ростовской области. — Ростов-на-Дону, Изд-во Ростовского ун-та, 1987. С. 90—95.
16. Чайкин В.Т., Шумлянский В.А. Эндогенная металлогения авлакогенов юго-восточной части Восточно-Европейской платформы // Геологический журнал. 1984. № 3. С. 130—139.
17. Чекунов А.В., Науменко В.В. Связь между глубинной перестройкой земной коры, тектоническими движениями, магматизмом, метаморфизмом и металлоносностью в Днепровско-Донецком палеорифте // Геофизический журнал. 1982. № 4. С. 25—34.
18. Чекунов А.В. Глубинные причины тектоногенеза. Геофизика и развитие тектоносферы. — М.: Наука, 1991. С. 18—30.
19. Шахновский И.М. Геологическое строение и нефтегазоносность авлакогенов Восточно-Европейской платформы. — М.: Наука, 1988. С. 1—9.
20. Эринчик Ю.М., Мильштейн А.Д. Центральнорусская трансплатформенная палеорифтовая система // ДАН (Р), 1993. Т. 329. № 1. С. 89—96.
21. Эринчик Ю.М., Мильштейн А.Д., Михайлов М.В. Палеорифтовые структуры Центральной части Восточно-Европейской платформы и их роль в размещении кимберлитового магматизма // Тектоника осадочных бассейнов. — М., 1996. С. 141—142.

D. I. Gorzhevsky, A. I. Donets

#### THE ROLE OF AULACOGENS OF THE EAST EUROPEAN PLATFORM (EEP) IN FORMATION AND DISTRIBUTION OF MINERAL DEPOSITS

*In Paleozoic, aulacogens of the East European platform had controlled the localization of ultramafic-alkaline igneous rocks, to which carbonatites hosting magnetite, apatite, phlogopite, tantalum-niobate and rare earths, as well as diamondiferous kimberlites are related. They had also played a role of ore-localizing structures for cuprous sandstone, lead-zinc and mercury ore deposits, the formation of which is associated with mobilization of metals from sedimentary rocks that had come into zones featuring comparatively high temperatures and pressures.*

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



УДК 550.8:552.323.6

© В. П. Афанасьев, Н. Н. Зинчук, 1996

## ПРОБЛЕМЫ ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЯКУТИИ

В. П. АФАНАСЬЕВ (Институт минералогии и петрографии СО РАН),  
Н. Н. ЗИНЧУК (ЯНИГП)

*Рассмотрены обстоятельства объективного характера, осложняющие ведение поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. К ним относятся: площадной характер ореолов индикаторных минералов; широкое развитие ореолов прибрежно-морского литодинамического типа; переложенный характер ореолов индикаторных минералов; физико-химические изменения индикаторных минералов; слабое развитие или практически полное отсутствие шлихового ореола; невозможность прицельного опробования древних коллекторов индикаторных минералов; малые объемы опробования. Показано влияние этих обстоятельств на возможности и результативность поисков на закрытых территориях, намечены пути снижения их негативного влияния.*

Проблема шлихо-минералогических поисков месторождений алмазов на закрытых территориях, где кимберлитовые тела погребены под более молодыми осадками и породами трапной формации, является одной из центральных, поскольку именно с ними связаны перспективы открытия новых коренных месторождений алмазов. К таким территориям относятся Мало-Ботуобинский район и Алакит-Мархинское кимберлитовое поле, освоенные горнодобывающей промышленностью и относительно хорошо опоскованные, а также обширные территории Вилюйско-Моркокинского междуречья, бассейны рек Ыгыатта и Марха, Приленского района и ряда других, степень опоскованности которых крайне низка. На уровне проведенных исследований с использованием минералогических критериев алмазоносности, разработанных в ИМП СО РАН под руководством академика Н.В.Соболева [9], можно считать особенно перспективными в отношении коренной алмазоносности территорию Далдыно-Толуопского водораздела (Приленский район), Ыгыаттинский район, бассейн реки Тюнг, а также ряд более локальных площадей, в частности участки Хатырьский, Дьукуннахский и иные. Не

исчерпаны перспективы обнаружения других перспективных площадей.

Вместе с тем, поиски погребенных кимберлитовых тел на закрытых территориях во многих случаях заходят в тупик. Причиной потому как субъективные, так и объективные обстоятельства.

Субъективные обстоятельства, приводящие к «отказам» [11] шлихо-минералогических поисков (некачественное бурение, заражение проб чужими индикаторными минералами или, наоборот, неизвлечение минералов, неправильная диагностика пород и минералов и др.) здесь рассматриваться не будут. Их преодоление может быть обеспечено комплексом мероприятий по организации труда, обучением персонала, использованием более совершенной аппаратуры и т.д.

Иное дело — обстоятельства объективного характера. В рамках комплекса используемых информационных, технико-метрологических, интерпретационных средств и методов обнаружения объектов поисков эти обстоятельства не могут быть преодолены полностью. Возможно лишь снижение их негативного влияния путем совершенствования указанных средств.

Основные помехи объективного характера, затрудняющие шлихо-минералогические поиски, следующие.

*Площадной характер шлиховых ореолов.* На открытых территориях индикаторные минералы сосредоточены в основном в современной гидросети, а на склонах долин и водораздельных пространствах встречаются преимущественно вблизи кимберлитовых тел. В то же время, при опробовании древних шлиховых ореолов на закрытых территориях по произвольно заданной сети индикаторные минералы в количестве единичных знаков встречаются во многих, а часто и в большинстве точек. Следовательно, для древних ореолов, в отличие от современных, отсутствует ярко выраженный геоморфологический контроль в размещении индикаторных минералов. Причина этого заключается, на наш взгляд, в следующем. Современная ландшафтная обстановка характеризуется весьма высоким стоянием континентов [8], идут активные эрозионные процессы, широко развиты интративные и перспективные фации руслового аллювия, на большинстве территорий размыв преобладает над осадконакоплением. Осуществляется достаточно дальняя транспортировка индикаторных минералов в узких потоках рассеяния [2], находящихся в стадии становления. Древние же ореолы формировались в условиях, когда осадконакопление уже преобладало над размывом и минералы имели возможность фиксироваться в осадках. Кроме того, малые мощности и фаціальное однообразие древних отложений с преобладанием фаций ближнего переноса на большинстве территорий указывают на низкий гидродинамический потенциал рельефа, который не обеспечивал значительной транспортировки индикаторных минералов от места их предыдущего захоронения. В таких условиях не могли формироваться четко выраженные протяженные потоки рассеяния. В результате крайне редко удается уловить древние потоки рассеяния от кимберлитов [7], тем более проследить их. К тому же древние ореолы во многих случаях содержат индикаторные минералы, переотложенные из более ранних коллекторов. Эти минералы переотлагались в формирующиеся осадки без значительного смещения, как бы проектируясь на новообразованный рельеф, и заражали осадки по площади [2]. Поэтому существует принципиаль-

ная разница между современными и древними ореолами и потоками рассеяния.

Площадной характер древних ореолов, создавая очевидные трудности для поисков из-за отсутствия хорошо развитых и протяженных потоков рассеяния, одновременно облегчает выявление перспективных площадей. Если бы распределение индикаторных минералов в древних ореолах соответствовало современному, то обнаружить их было бы крайне сложно в условиях «слепого» опробования.

Преодолеть трудности поисков, связанные с площадным характером древних ореолов, можно путем минералогического картирования по комплексу признаков минералов и минеральных ассоциаций, чувствительных к местоположению коренного источника [1]. Но и в этом случае достигается лишь выделение более или менее локальной площади, в пределах которой предполагается местонахождение кимберлитового тела. Теоретически возможно, в случае обнаружения минералов прямого размыва, выйти на кимберлитовое тело путем прослеживания потока рассеяния. Однако на практике это лимитируется технико-экономическими факторами, а также трудностью отличия минералов прямого размыва кимберлитов от переотложенных, но тоже ближнего переноса.

*Широкое развитие ореолов прибрежно-морского литодинамического типа.* Эти ореолы формируются в связи с древними морскими бассейнами и характеризуются рядом весьма специфических черт: максимальной степенью механического износа минералов, хорошей гидравлической сортировкой, приводящей к образованию однородных по гранулометрии минеральных ассоциаций с преобладанием пиропов или чисто пироповых, площадным характером и высокой однородностью ореолов [5]. Сильная измененность первичных характеристик минеральных ассоциаций, наряду с однородностью и площадным характером ореолов, не позволяют локализовать по ним местоположение коренных источников. Вместе с тем частая встречаемость таких ореолов, как в первичном захоронении, так и переотложенных, заставляет искать пути их использования для целей прогноза коренной алмазности.

В последнее время на некоторых объектах нами установлено, что прибрежно-морские ассоциации минералов отражают местные корен-

ные источники. Так, при изучении химизма интегральных проб пикроильменитов участков Малка, Чорбох и Лунный (Приленский район) обнаружены значимые различия между ними. В то же время раздельное изучение составов пикроильменитов каждого участка по степени механического износа, отражающего условия формирования ореолов (слабый износ — континентальный литодинамический тип ореола, средний износ — прибрежно-аллювиальный, сильный — прибрежно-морской [2]), показал сходство всех трех групп в пределах каждого участка. Следовательно, сильно окатанные пикроильмениты из прибрежно-морских ореолов не являются фоновыми для всей площади, на которой выделены данные участки, а отражают состав кимберлитовых тел каждого участка, так же, как и минералы континентального и прибрежно-аллювиального типов. Другой пример — различия составов ассоциации пиропов из девонских прибрежно-морских отложений, обнажающихся в русле среднего течения реки Ыгыатта, где пиропы находятся в первичном захоронении, и в верховьях этой реки, где совершенно аналогичные по физиографическим особенностям пиропы находятся в переотложенном состоянии в более молодых отложениях. По всей видимости и та, и другая ассоциации пиропов принадлежали единому обширному девонскому коллектору, формировавшемуся в краевой части Ыгыаттинского бассейна. Однако если в первом случае не обнаружены пиропы алмазной ассоциации, то во втором их доля превышает 16 %, что указывает на резкие различия алмазности питающих коллекторов кимберлитовых тел.

Таким образом, ассоциации индикаторных минералов прибрежно-морского литодинамического типа, несмотря на специфику своего образования, в какой-то мере отражают характер местных коренных источников. Вопрос об удаленности последних по-прежнему остается открытым, однако можно попытаться дать некоторые оценки. Так, россыпь Восточная (Мало-Ботубинский район), являющаяся типичной прибрежно-морской россыпью, формировавшейся в береговой зоне Тунгусского бассейна и позднее переотложенной в среднекарбонные континентальные отложения [5], находится на расстоянии немногим более 20 км от трубки Мир и около 15 км от трубки Интернациональная. Оставив в стороне вопрос о коренном источнике россыпи (Мир, Интернациональная

или неизвестная трубка/трубки), можно допустить, что удаленность коренных источников в данном случае не превышает эти расстояния, а возможно и меньше. Максимальную удаленность пока оценить трудно. В конечном счете и минимальная, и максимальная удаленность определяется только характером палеоландшафта и размещением кимберлитов относительно береговой линии бассейна.

Понять причину соответствия состава прибрежно-морских ассоциаций индикаторных минералов местным коренным источникам можно, представив себе характер палеобассейнов. Это были эпиконтинентальные мелководные моря с неустойчивой, изрезанной береговой линией, широко развитой островной сушей, способные к обширным и быстрым трансгрессиям и регрессиям в связи с незначительными колебаниями уровня Мирового океана, которые систематически осуществлялись на протяжении всей геологической истории. Такие условия не способствовали вдольбереговому перемещению индикаторных минералов, вялая гидродинамика водотоков на низменной суше не могла обеспечить привноса большого количества индикаторных минералов из удаленных источников, поскольку минералы рассеивались еще на суше, и лишь от достаточно близко расположенных кимберлитов могли формироваться контрастные прибрежно-морские ореолы типа россыпи Восточная.

Следовательно, хотя мы по-прежнему не в состоянии локализовать местоположение коренных источников по прибрежно-морским ассоциациям индикаторных минералов, их можно использовать для средне- и мелкомасштабного прогноза (кустов и полей кимберлитовых тел).

*Переотложенный характер шлиховых ореолов.* В истории геологического развития с момента формирования кимберлитовых тел обычно выделяется несколько циклов седиментогенеза, в ходе которых коллекторы индикаторных минералов полностью или частично размывались, а минералы переотлагались в новообразованные отложения. Переотложение разрушает «дорожку» индикаторных минералов, образующихся в процессе размыва кимберлитов, минералы расползаются, образуя площадные ореолы. В процессе переотложения в общем случае происходит перемешивание индикаторных минералов, принадлежащих

разным литодинамическим типам ореолов, в связи с чем возникают гетерогенные ореолы. Кроме того, в случае, если древний коллектор размывается полностью и эрозия вновь вскрывает кимберлиты, последние подпитывают переотлагающиеся ассоциации индикаторных минералов «свежим» материалом, т.е. смешиваются минералы разных эпох размыва кимберлитов и возникают гетерохронные ассоциации. Явления гетерогенности и гетерохронности тесно связаны и обусловлены процессами переотложения [2, 4].

Установить, что индикаторные минералы являются переотложенными можно по ряду признаков. Главные из них: гетерогенный состав ассоциации; несоответствие степени износа минералов фациальному характеру отложений (например, предельно окатанные пиропы россыпи Восточная находятся в делювиально-пролювиальных отложениях); физико-химические изменения минералов, несовместимые с условиями формирования отложений.

Переотложение осуществляется, как правило, в фациях ближнего переноса, поэтому дальность перемещения невелика и весьма редко удается видеть обусловленный им слабый механический износ. Обычно этот износ фиксируется по незначительному истиранию коррозионных поверхностей. Ореол переотложенных минералов вокруг кимберлитовых тел гораздо шире, чем минералов прямого размыва, синхронного переотложению. Малыми объемами опробования их можно уловить только в непосредственной близости от трубки. Поэтому на всех стадиях поисков приходится иметь дело исключительно или преимущественно с переотложенными минералами. Именно это является одной из основных трудностей локального прогнозирования и, в конечном счете, одной из главных причин низкой результативности поисков на закрытых площадях.

Огромное влияние на поиски по древним ореолам с переотложенным материалом оказывает соотношение величин древней денудации и денудации на конкретный период седиментогенеза, т.е. соотношение в ореолах переотложенных индикаторных минералов и минералов прямого размыва кимберлитов.

В Мало-Ботубинском районе величина доверхнепалеозойской денудации составила около 300 м, а на протяжении верхнего палеозоя — на порядок меньше [3]. Алакит-Мархинское поле имеет близкую среднюю величину

верхнепалеозойской денудации и примерно равную ей — доверхнепалеозойской, т.е. доверхнепалеозойская денудация примерно на порядок меньше, чем в Мало-Ботубинском районе. Поэтому в Мало-Ботубинском районе сформировались весьма обширные ореолы, в которых подавляющее преимущество имеют переотложенные минералы, ореолы отдельных кимберлитовых тел перекрываются. Это обуславливает низкую чувствительность прогнозно-поисковых признаков и, как следствие, низкую локальность и надежность прогноза.

Иначе обстоит дело в Алакит-Мархинском поле: небольшая величина суммарного эрозионного среза обеспечивает локальность ореолов, в которых основную роль играют минералы ближнего переноса — как переотложенные, так и прямого размыва кимберлитов. Эти ореолы контрастно выделяются на региональном минералогическом фоне [3].

Такое соотношение минералов прямого сноса и переотложенных как отражение величин денудации безусловно сказывается на возможности локального прогноза и в итоге — на результативности поисков.

Поскольку переотложение разрывает связь минералов с коренным источником, а минералы прямого сноса уловить крайне сложно, возникает вопрос — возможно ли использование переотложенных индикаторных минералов для целей прогноза? На наш взгляд, такая возможность существует. Как было показано выше, переотложение осуществляется в фациях ближнего переноса, поэтому минералы перемещаются, но в большинстве случаев на незначительное расстояние, так что ореол хотя и «расплывается», но в первом приближении сохраняет особенности своего первоначального строения. Поэтому в принципе возможна локализация местоположения коренных источников по переотложенным минералам, для чего необходимо использовать минералогические признаки, чувствительные к дальности транспортировки минералов [1].

*Физико-химические изменения индикаторных минералов.* Затруднения при поисках, связанные с этими изменениями, весьма велики. Они искажают первичный облик минералов, уничтожают следы механического износа, изменяют состав ассоциаций индикаторных минералов. Всего установлено четыре типа экзогенных физико-химических изменений минера-

лов: в условиях гипергенеза, диагенеза, метагенеза и метасоматоза. Из них главное значение имеют гипергенные изменения, распространенные глобально и на протяжении всего фанерозоя. Все виды изменений детально изучены, описаны и проиллюстрированы [2].

Неизбежность трудностей, связанных с физико-химическими изменениями, очевидна. Вместе с тем, они играют во многих случаях положительную роль как хронологические реперы для восстановления истории развития ореолов. Так, например, если на окатанных зернах пиропы россыпи Восточная, имеющей среднекарбонный возраст, наблюдаются следы гипергенного растворения, а кора выветривания, ответственная за них, датируется для данной территории поздним девоном—ранним карбоном, то механический износ является докоровым, т.е. по крайней мере верхнедевонским, и, скорее всего, связан с формированием первичного прибрежно-морского коллектора. Отсюда ясно, что в среднекарбонных отложениях эти пиропы являются переотложенными [2, 4].

Чтобы уменьшить трудности, связанные с физико-химическими изменениями, необходимо исследовать их природу, уметь диагностировать и знать характер влияния на индикаторные минералы и их ассоциации. Такие знания в настоящее время имеются [2] и вопрос упирается в обучение персонала производственных лабораторий.

*Слабое развитие или практически полное отсутствие шлихового ореола.* Таких погребенных кимберлитовых тел известно немного. К ним относится, в частности, трубка им. XXIII съезда КПСС (Мало-Ботуобинский район). Трубка перекрыта терригенными отложениями нижней юры, найдена при заверке магнитной аномалии. На трубке развит полный профиль коры выветривания, датируемой, вероятно, поздним триасом. В верхней части коры выветривания, соответствующей зоне гидролиза, индикаторные минералы имеют признаки гипергенного выветривания [1]. Вместе с тем, индикаторные минералы в весьма слабо развитом ореоле вблизи трубки не имеют признаков выветривания. Как и другие трубки района, эта трубка должна быть существенно эродирована. Но отсутствие мезозойского ореола дает основание полагать, что индикаторные минералы предшествующих эпох размыва были достаточно удалены от трубки и перемешаны с минералами других

кимберлитовых тел. Однако окончательно этот вопрос пока не решен. Данный пример настораживает в том отношении, что подобные трубки могут быть пропущены. Их прогноз по индикаторным минералам практически невозможен. В известных нам примерах у аналогичных трубок имеется полный профиль коры выветривания с корродированными минералами в верхней части. Но этого факта недостаточно, чтобы построить непротиворечивую модель, объясняющую отсутствие или слабое развитие ореола.

*Невозможность прицельного опробования древних терригенных отложений для обнаружения индикаторных минералов кимберлитов.* Если при опробовании современной гидросети геолог может наблюдать контур долины, русла, подбирать оптимальные для концентрации индикаторных минералов русловые микрофации, то опробование древних шлиховых ореолов приходится вести вслепую, по сети того или иного параметра. Результатом опробования является преимущественно фоновый для данной территории минералогический материал. Даже в случае обнаружения точек с аномально высокими концентрациями индикаторных минералов, от них практически не удастся проследить поток рассеяния, по которому можно выйти на коренной источник (о причинах этого сказано выше).

Преодоление этого обстоятельства — в сгущении сети опробования, которое, в свою очередь, лимитируется причинами технико-экономического характера.

*Малые объемы опробования.* При поисках по современным потокам рассеяния важен не только выбор для опробования наиболее обогащенных индикаторными минералами русловых микрофаций, но и возможности отбора проб определенного объема. При опробовании древних отложений получение проб больших объемов доступно лишь с помощью шурфов или шахт. Однако их можно использовать при относительно небольших глубинах залегания продуктивного горизонта, либо по контуру выхода на дневную поверхность древних отложений. Колонковое бурение не обеспечивает достаточных объемов опробования, при этом закономерной является потеря поисковой информации: индикаторные минералы могут быть не уловлены даже при их наличии в данной точке, либо будут пропущены ценные в поисковом отношении, но

содержащиеся в малом количестве минералы, в первую очередь минералы прямого размыва кимберлитов.

Возможный путь преодоления этого затруднения — в увеличении объемов опробования с помощью технико-технологических средств.

Таковы по отдельности основные трудности, с которыми сталкиваются геологи на разных стадиях шлихо-минералогических поисков. Но эти трудности всегда встречаются в комплексе, еще более усугубляя положение. Кроме того, каждая трубка, ореол, кимберлитовое поле, район имеют индивидуальные особенности, выходящие за рамки данного схематического обзора и требующие творческого подхода. Однако ситуация и в Якутской алмазонасной провинции и в Красноярском крае, и в Иркутской области, и в Архангельской провинции, и на Урале сложилась таким образом, что приходится работать на закрытых территориях. И если от перечисленных осложнений нельзя избавиться полностью, то необходимо найти путь снижения их негативного влияния.

Задача прогнозирования погребенных месторождений алмазов решается на минералогической карте. Минералогическое картирование является важнейшей составной частью топоминералогии, которая, по определению Н.П.Юшкина, «... изучает закономерности формирования и распределения минералов и минеральных ассоциаций в геологических системах разных масштабов и разных структурных уровней» [13, стр. 23]. Главным методом топоминералогических исследований, по мнению этого автора, должно быть минералогическое картирование. Говоря о картировании, Б.М.Чиков отмечает, что геологическая карта является продуктом регламентированной инженерной деятельности [12]. По аналогии минералогическую карту можно определить как результат регламентированной инженерной деятельности по изучению распределения индикаторных минералов оруденения и их свойств в разрезе и по латерали вмещающих отложений. По нашему мнению, можно выделить два вида минералогического картирования: 1) собственно топоминералогическое картирование, буквально означающее отражение особенностей заданного минерального комплекса в данной точке литосферы; 2) прогнозно-минералогическое картирование.

Топоминералогическое картирование — фактографическое. С его помощью на карте отражается та или иная информация о минералах и минеральных ассоциациях. Таковы традиционные шлихо-минералогические карты, на которых с помощью графических знаков вынесена информация о концентрации, гранулометрии, сохранности и т.д. индикаторных минералов.

Прогнозно-поисковое минералогическое картирование строится на принципиально иной основе. На карту выносятся информация, отражающая некоторые комплексные показатели, чувствительные к местоположению объектов поиска. Для целей локального прогноза нами разработан специальный метод прогнозно-поискового минералогического картирования, основанный на количественной оценке «качества» шлихов, т.е. степени соответствия шлиховой ассоциации индикаторных минералов их ассоциации в условном коренном источнике (КС) [1]. При расчете КС используется комплекс признаков, чувствительных к удаленности коренных источников:

концентрация индикаторных минералов (экспоненциально падает по мере удаления от коренного источника);

гранулометрия (по мере удаления уменьшается доля крупных зерен индикаторных минералов);

соотношение силикатных и рудных минералов, чаще всего пиропы и пикроильмениты (доля рудных минералов уменьшается по мере удаления от источника);

доля агрегатного пикроильменита (уменьшается по мере удаления от источника);

доля оранжевых пиропов (уменьшается по мере удаления от источника);

доля пиропов с дислокационным типом коррозии (уменьшается по мере удаления от источника);

степень сортировки шлиховой ассоциации (улучшается по мере удаления от источника);

степень износа минералов (увеличивается по мере удаления от источника).

КС рассчитывается на основе этих признаков с учетом количественного выражения и поисковой значимости (веса) каждого из них. Картирование по каждому из этих признаков в отдельности, т.е. топоминералогическое картирование, дает неоднозначную и даже противоречивую информацию по части лока-



лизации коренных источников. Когда же они работают вместе, интегрируя полезный «сигнал» по восьми каналам, компенсируются неизбежные случайные и систематические погрешности по каждому из признаков. Надежность и достоверность оценки шлиховых проб и ореола в целом поднимается на качественно новый уровень.

Картирование шлиховых ореолов в изолиниях КС позволяет объективно оценить структуру ореолов в отношении локализации коренных источников, а расчет минимально аномального уровня КС по методике, позаимствованной из поисковой геохимии и адаптированной В.А.Цыгановым к шлихо-минералогическим поискам, дает возможность выделять локальные минералогические аномалии [6].

Картирование древних шлиховых ореолов Мало-Ботуобинского района и Алакит-Мархинского поля в изолиниях КС показало, что в последнем локальность минералогических аномалий почти на порядок выше, чем в Мало-Ботуобинском районе, что подтвердило приведенные выше доводы о влиянии величины эрозионного среза кимберлитов на масштабы ореолов и локальность прогноза.

Как видно из перечня прогнозно-поисковых признаков, все они имеют векторный характер, т.е. соответствуют континентальному литодинамическому типу ореолов. Хуже эти признаки работают для прибрежно-аллювиальных ореолов и совсем не предназначены для работы по прибрежно-морским ореолам, у которых отсутствуют векторные характеристики. Однако принятая в экспедициях система описания шлихов не предусматривает разделения минералов по литодинамическим типам, поэтому в расчет КС входит вся гетерогенная ассоциация. В результате полезный сигнал сильно разбавляется информационным шумом, который снижает величину КС и, соответственно, сглаживает структуру минералогического поля. Для некоторых участков (Приразломный Мало-Ботуобинского района) нами была предпринята попытка описания всего шлихового материала с выделением континентальной составляющей и расчета КС только по ней. При расчетах уровень КС вырос на 0,2—0,3 по сравнению с его значениями по интегральным пробам, кроме того, резко повысилась локальность аномалии в районе скв. 305. Поэтому дальнейшие шаги в повышении надежности и локальности прогноза

должны опираться на более качественное описание шлихового материала.

К сожалению, качество описания шлихов в производственных организациях, не соответствует уровню современных знаний о шлиховых ореолах и методов локального прогноза. В стандартной системе описания шлихов опускается ряд важных признаков. Описание некоторых признаков подменяется их интерпретацией. В первую очередь это относится к понятию «сохранность». Этот термин был предложен А.А.Кухаренко для характеристики целостности кристаллов алмаза. Затем он стал применяться для оценки состояния индикаторных минералов в ореолах и представлял собой интегральную характеристику, включающую и механический износ минералов, и различные виды физико-химических изменений, в первую очередь гипергенных. Если в 60-е — начале 70-х годов такой подход был плодотворным, поскольку позволял различать переотложенные минералы и минералы прямого сноса, то к настоящему времени это понятие стало тормозом в совершенствовании шлихо-минералогических поисков. Сейчас необходимо отдельно оценивать степень механического износа и гипергенной коррозии, а из понятия «сохранность» не вытекает ни то, ни другое. К сожалению, при использовании данных минералогического анализа для расчета КС приходилось использовать «сохранность» подразумевая под ней преимущественно износ, хотя во многих случаях это было не так. Без сомнения, качество описания сказалось на расчетах КС и лишь низкая степень значимости механического износа позволила избежать крупных ошибок.

Поэтому одной из важнейших проблем повышения эффективности шлихо-минералогических поисков на закрытых территориях в настоящее время является обучение персонала, в первую очередь лабораторных служб, современной системе минералогического изучения и интерпретации шлихового материала.

Таковы основные, на наш взгляд, трудности, связанные со шлихо-минералогическими поисками на закрытых территориях. Можно заметить, что все они касаются локального прогноза. По нашему мнению, именно на стадии локального прогноза выявляются те слабости технико-технологического, лабораторно-аналитического, интерпретационного, наконец, организационного характера,

которые мешают открытию алмазов. Это мнение противоречит мнению некоторых геологов, считающих, что основная проблема — прогноз кимберлитовых полей, тогда как при поисках кимберлитовых тел внутри полей проблем нет. Пример Мало-Ботуобинского района, где геологи на два десятилетия «увязли» в верхнепалеозойских ореолах, несмотря на четкие признаки существования на этих территориях неизвестных кимберлитовых тел, показывает, что те же трудности и та же низкая эффективность поисков поджидают в пределах любого, как угодно достоверно выделенного, поля на закрытых территориях. Кроме того, одно достоверно выделенное поле обеспечивает работы минимум на десятилетие, а реально и больше. В настоящее время высокоперспективный алмазоносный район выделен в Приленье (Даддыно-Толуопское междуречье и бассейн реки Кютюнде [6]). Очень хорошие перспективы на открытие нового алмазоносного района по начальной стадии работ имеются в бассейне верховьев реки Ыгыатта. Весьма перспективен бассейн реки Тюнг. Переотложенная россыпь прибрежно-морского генезиса Дьукуннахская позволяет предполагать наличие алмазоносных коренных источников в восточном секторе от нее. Однако все эти объекты «недоработаны», т.е. ни по одному из них не проведены в достаточном объеме работы по обоснованию существования поля и его оконтуриванию. Как правило, это связано с нарушением стадийности [11] — переходу к детальным работам в точках обнаружения индикаторных минералов хорошей «сохранности» за счет сворачивания региональных работ. Поэтому основную проблему мы видим не в отсутствии критериев регионального прогноза, а в недостаточно умелом использовании критериев локального прогноза, нацеленного на обнаружение конечных объектов поисков.

Как отмечалось выше, шлихо-минералогический метод, как и любой другой поисковый метод, имеет свои возможности и свои ограничения. На стадии регионального прогноза он самодостаточен, т.е. может обеспечить обнаружение нового кимберлитового поля, района. Фактически нет других надежных критериев их выделения, кроме минералогических. Однако на стадии локального прогноза на закрытых территориях возможности этого метода ограничены выде-

лением лишь более или менее локальной площади, перспективной на открытие кимберлитовых тел. Поэтому шлихо-минералогический метод должен использоваться только в комплексе с другими методами, в первую очередь геофизическими, а также с бурением по регулярной сети. Это связано не со слабостью данного метода как такового, а с теми объективными трудностями и ограничениями, о которых сказано выше. Осознание и учет этих трудностей — непременное условие повышения эффективности шлихо-минералогических поисков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В.П. К методике минералогического картирования шлиховых ореолов кимберлитовых тел // Геология и геофизика. 1989. № 5. С. 36—42.
2. Афанасьев В.П. Закономерности эволюции кимберлитовых минералов и их ассоциаций при формировании шлиховых ореолов // Геология и геофизика. 1991. № 2. С. 78—85.
3. Афанасьев В.П., Борис Е.И. Некоторые закономерности формирования древних ореолов рассеяния кимберлитовых минералов // Сов. геология. 1984. № 6. С. 92—98.
4. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Минерогения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1987. № 1. С. 90—96.
5. Афанасьев В.П., Сибирцев Ю.М., Егоров А.Ю. О кимберлитовых минералах из древних прибрежно-морских коллекторов // Известия вузов. Сер. геология и разведка. 1986. № 2. С. 48—55.
6. Афанасьев В.П., Цыганов В.А. Статистическая обработка комплексных данных шлихового опробования для повышения надежности прогнозирования коренных месторождений алмазов // Известия вузов. Сер. геология и разведка. 1988. № 5. С. 43—50.
7. Афанасьев В.П., Яныгин Ю.Т. О погребенных первичных потоках рассеяния кимберлитовых тел в Мало-Ботуобинском районе // Геология и геофизика. 1983. № 6. С. 85—90.
8. Земля / Дж.Ферхуген, Ф.Тернер, Л.Вейс, К.Вархафтинг, У.Файф. — М.: Мир, 1974. Т. 2.
9. Соболев Н.В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика. 1971. № 3. С. 70—80.
10. Соболев Н.В., Белик Ю.П., Похиленко Н.П. и др. Хромсодержащие пиропы в каменноугольных отложениях Кютюндеинского прогиба // Геология и геофизика. 1981. № 2. С. 153—156.
11. Цыганов В.А. Надежность геолого-поисковых систем. — М.: Недра, 1994.
12. Чиков Б.М. Тектоническое районирование: принципы, методы, картография. — М.: Недра, 1986.
13. Юшкин Н.П. Топоминералогия. — М.: Недра, 1982.

V. P. Afanasyev, N. N. Zinchuk

PROBLEMS OF HEAVY-CONCENTRATE MINERALOGICAL EXPLORATION OF DIAMOND DEPOSITS IN CLOSED AREAS OF YAKUTIA

*Exploration of diamond deposits localized within closed areas is hindered by the following objective factors: areal character of indicator minerals' (IM) dispersion haloes; extensive development of coastal-marine lithodynamic-type haloes; redeposition as a key genetic feature of IM haloes; physicochemical variability of IM; weakness or absence of heavy concentrate haloes in some cases; impossibility of subject-oriented sampling of old IM collectors; small sampling volumes. The article discloses the effect of these factors on the potentialities and efficiency of exploration performed within closed areas and ways to reduce this effect.*

УДК 553.411'412.078:629.78(571.65)

© Г. А. Миловский, Д. М. Бачманов, 1996

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПРОГНОЗЕ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Г. А. МИЛОВСКИЙ, Д. М. БАЧМАНОВ (НГИЦ РАН)

*Представлены результаты компьютерной обработки космических снимков (КС) для выявления поисковых признаков рудных узлов, рудных полей и золото-серебряных месторождений Магаданской области. Предложены способы оптимизации обработки космических данных, полученных с помощью российских космических аппаратов. Разработан метод фоторобота, основанный на экспертно-компьютерном сравнении геологических и космических данных, намечены перспективные направления использования космических съемок при прогнозе на золото.*

Решение задачи крупномасштабного прогноза и поисков полезных ископаемых с применением космических методов обусловлено необходимостью получения качественно новых данных по исследуемым объектам без дополнительных затрат на проведение дорогостоящих полевых и горных работ. Компьютерная обработка космических данных повышает информативность КС, т.к. с ее помощью можно провести анализ рисунка изображений на снимках, выявить на КС интересные исследователя наиболее важные поисковые признаки оруденения и дать количественную оценку значимости тех или иных поисковых критериев. Хотя современные космические методы позволяют проводить изучение земной поверхности в масштабах 1:50000—1:5000, существующие методики обработки

космических данных, как правило, не применяются для крупномасштабного прогноза — наиболее интересного для территориальной геологической службы и горно-металлургических комбинатов. Основное значение при исследовании рудных объектов с помощью космических снимков уделяется мелко- и среднемасштабному прогнозу, позволяющему проводить изучение на уровне рудных провинций и районов [1—5, 7, 8, 13—15]. Важным преимуществом космической съемки является возможность изучения отдаленных, труднодоступных территорий и получение информации «сегодняшнего дня», которая не может быть получена другими средствами.

В настоящей работе изучались золото-серебряные объекты Магаданской области, от-

носящиеся к Дукатскому и Карамкенскому геолого-промышленным типам. Использованы экспертный и компьютерный анализ геологических данных и результаты крупномасштабных космических съемок — многозональной (чба, чбб, чбв) и спектрзональной. Было установлено, какие из известных по геологическим данным поисковых критериев, отчетливо проявляются на КС в результате применения компьютерных процедур обработки изображений.

Разработка методических приемов обработки снимков для решения задач крупномасштабного прогноза рудных полей и месторождений предполагает сочетание двух подходов: от снимка к карте и от карты к снимку. Первый подход может быть полезен для нахождения новых поисковых критериев. Второй подход, основанный на сравнении с эталоном, наиболее важен, т.к. базируется на совокупности всех данных, накопленных геологической службой, и включает в том числе и дистанционные геофизические методы исследования. При этом основная задача сводится к выявлению на снимке образа объекта поиска (рудное поле, месторождение, субвулканическое тело и т.п.). Эта задача может решаться на качественном уровне с использованием структурно-формационных, геоморфологических, геохимических и других поисковых признаков. Привлечение средств компьютерного дешифрирования в свою очередь позволяет разработать такую систему процедур обработки КС, при которой результат процедуры будет иметь наибольшее совпадение (при совмещении) с образом диагностируемого объекта.

Оптимизация применения компьютерной обработки космических данных включает несколько последовательно выполняемых этапов. Первый этап включает формализацию процедур компьютерной обработки, которая проводится отдельно для каждого применяемого пакета прикладных программ. На втором этапе осуществляется типизация этих процедур в соответствии с заданными поисковыми признаками по каждому из пакетов прикладных программ. На третьем этапе выполняется ранжирование выбранной системы поисковых признаков в соответствии с их геологическим содержанием. В результате работ второго и третьего этапов формируется последовательность процедур, позволяющая по КС создать

компьютерный образ того или иного поискового признака. На четвертом этапе проводится оптимизация создаваемых компьютерных образов данного поискового признака, основанная на *методе фоторобота*. На завершающем — пятом этапе осуществляется количественный сравнительный анализ полученных *фотороботов* и формируется система компьютерной обработки КС, наилучшим образом выявляющая заданную группу поисковых признаков.

Формализация процедур обработки фотоизображений позволяет использовать компьютерные средства более эффективно, т.к. обеспечивает наглядность прочтения содержания процедуры и, соответственно, воспроизводимость этих процедур различными пользователями ЭВМ. Формализация достигается разбиением процесса редактирования электронных изображений на элементарные операции и созданием системы кодирования операций, позволяющей любому сотруднику независимо повторить всю последовательность действий над исходным изображением и получить при этом идентичный результат. Под операциями подразумеваются элементарные действия над изображениями, которые кодируются по трем первым буквам названия операции. Далее, по аналогии с языками программирования, последовательность операций, приводящая к искомому результату, именуется процедурой.

Типизация процедур компьютерной обработки ориентирована на выявление на снимках поисковых признаков различного класса. Многолетний опыт геолого-разведочных работ показал, что каждому геолого-промышленному типу оруденения соответствует своя система прогнозно-поисковых признаков. Это необходимо учитывать при компьютерном дешифрировании космических снимков. Например, при изучении проявленности на снимках поисковых признаков золото-серебряного оруденения Магаданской области авторами использовались разработки ЦНИГРИ и ПГО «Севостгеология» [9, 11]. Поисковые признаки подразделяются на точечные, линейные и площадные. К точечным признакам относятся (в зависимости от масштаба) — рудные поля, месторождения, рудопроявления, рудные точки; к линейным и площадным — разрывные нарушения, дайки, стратиграфические горизонты,

магматические тела, зоны метасоматических изменений, и т.п. Некоторые поисковые признаки (коры выветривания, геохимические ореолы и т.п.) в зависимости от характера оруденения могут быть линейного или площадного типа.

Ранжирование поисковых признаков при компьютерной обработке космоснимков имеет большое значение, т.к. в геологической практике сложилось представление о многоуровневом изучении территорий, перспективных на золотое оруденение: металлогеническая провинция — рудный район — рудный узел — рудное поле — перспективный участок (потенциальное месторождение), при этом каждому уровню генерализации соответствует не только свой масштаб, но и своя система поисковых признаков. Отдельные признаки имеют «сквозной» характер, т.е. относятся к нескольким уровням.

При изучении Дукатского рудного района, приуроченного к Омсукчанской морфоструктуре центрального типа, основное внимание было уделено выявлению элементов морфоструктуры, возникших в период тектоно-магматической активизации, с которой связано продуктивное оруденение [6]. Внутреннее строение Омсукчанской морфоструктуры асимметрично и подчинено концентрическим дислокациям, расположенным вокруг ядра, локализованного в восточной части морфоструктуры (рис. 1А). В пределах ядра на космоснимках выявлено две системы линейных элементов — широтная и северо-западная (рис. 1Б), которые фокусируются в центральной части ядра и веером расходятся в северо-западном и юго-восточном направлении. За пределами ядра, в области развития дочерних кольцевых структур, наибольшее распространение получают линейные элементы разломы северо-западного направления.

Были изучены космогеологическая проявленность поисковых признаков одного из рудных узлов, с которым связана группа золото-серебряных месторождений [12], и общий перечень поисковых критериев [11]. Использовались такие признаки, как вулканогенно-тектонические депрессии, участки пересечения разломов субширотного и диагонального направления, палеокальдеры, вулканогенно-купольные структуры,

субвулканические образования риолит-дацитового состава. При дешифрировании КС учитывались геоморфологические, гидрогеологические и другие признаки разрывных и вулканогенных структур. Кальдеры и вулканогенно-тектонические депрессии выражены в рельефе понижениями, ограничены кольцевыми разломами и дайковыми поясами. Вулканогенно-купольные структуры (стратовулканы и др.), экструзивные и субвулканические тела дешифрируются по положительным формам рельефа и развитию системы кольцевых и радиальных разломов.

В результате исследований характера распределения дизъюнктивных нарушений, установлена высокая степень проявленности на космоснимках разломов как субширотного, так и диагонального направлений. При этом выявлено, что на геологических картах откартированы далеко не все разломы, проявленные на космоснимках. Например, на космоснимках отчетливо трассируется разлом субширотного простирания, который не отмечен ни на одной геологической карте (рис. 2, разлом 1). Дешифрирование этих разломов имеет первостепенное значение в связи с тем, что одним из основных критериев локализации оруденения является приуроченность рудных объектов к пересечению разломов субширотного и диагонального направлений. Так, одно из месторождений как раз находится в узле пересечения разлома 1 и диагонального разлома 2. Поэтому наиболее эффективным при дешифрировании КС с целью прогноза золото-серебряного оруденения и стал поиск узлов пересечения разломов субширотного и диагонального направлений в пределах выявленных на космических снимках депрессионных структур. При этом важно обращать внимание именно на узлы, локализованные в пределах вулканогенно-тектонических депрессий (другой поисковый признак), также отчетливо проявляющихся при компьютерной обработке космоснимков. Таким образом, ранжирование подразумевает не только иерархическую последовательность применения компьютерных процедур обработки КС по мере увеличения масштаба от рудного района до месторождения, но и их последовательность в пределах одного уровня.

В результате применения компьютер-

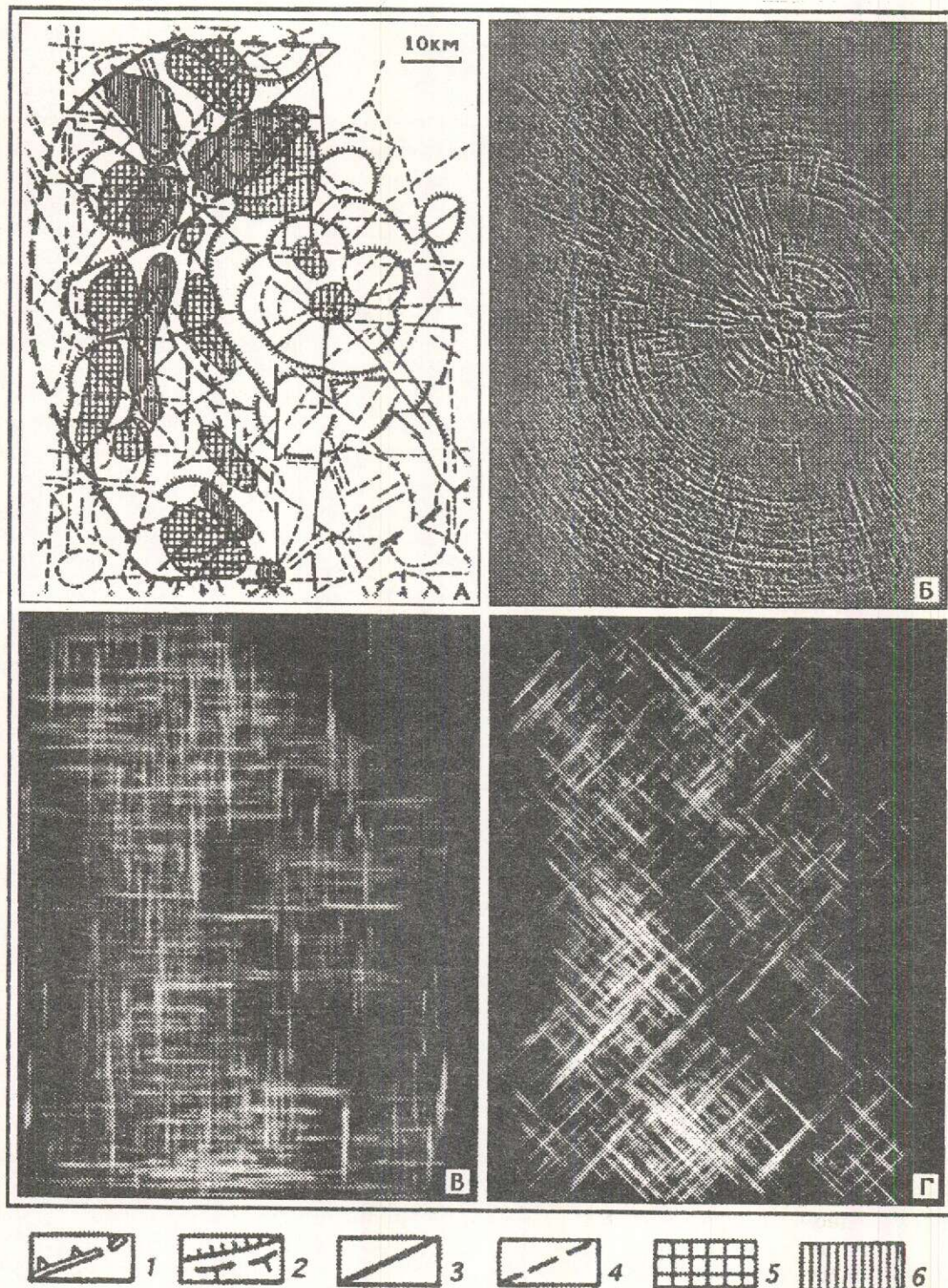


Рис. 1. Схема соотношения элементов тектонического строения современного рельефа с металлогенической зональностью (Омсукчанский рудный район) [6] (А) и результаты компьютерной обработки космических снимков (Б, В, Г):

1 — граница Омсукчанской сателлитной системы; 2 — границы дочерних структур; 3 — границы блоков; 4 — разломы; 5 — площади распространения минерализации кассерит-силикатного типа; 6 — площади распространения минерализации полиметаллического типа

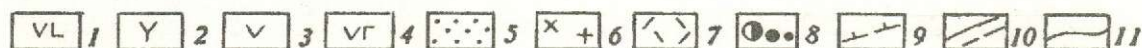
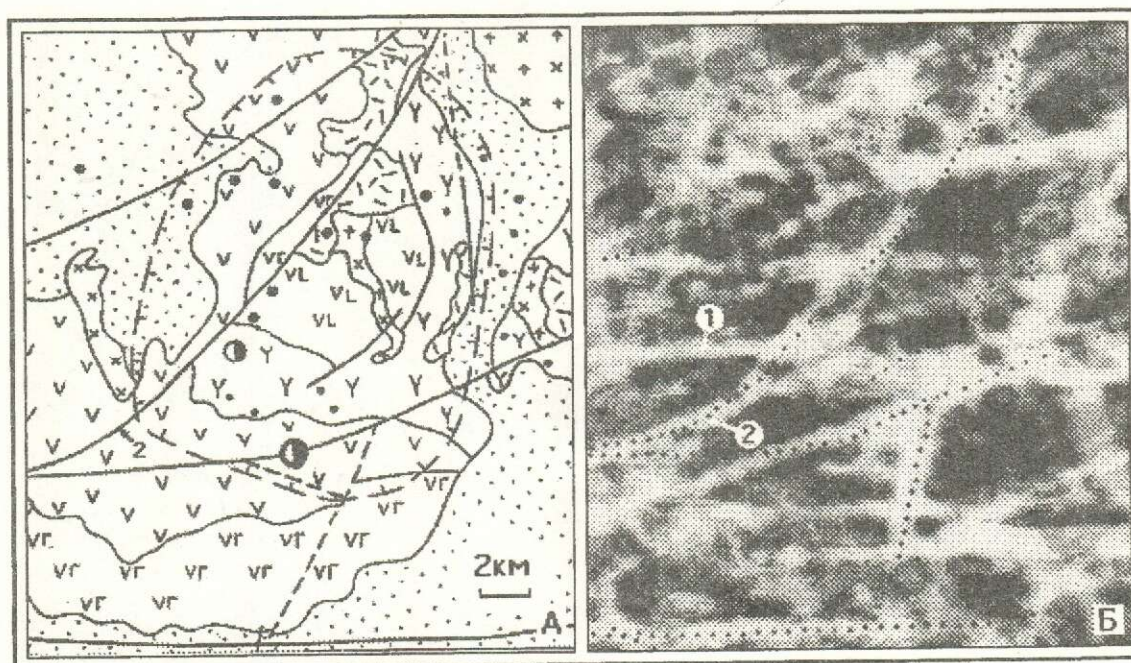


Рис. 2. Схема строения рудного узла [12] (А) и результат компьютерной обработки космических снимков (Б):

1 — риолиты верхней четвертой свиты; 2 — андезиты и андезито-базальты третьей свиты; 3 — туфы дацитов второй свиты; 4 — андезито-базальты нижней первой свиты; 5 — юрские терригенно-морские отложения; 6 — гранитоиды мелового возраста; 7 — субвулканические дациты второй свиты; 8 — золото-серебряные месторождения, рудопоявления, точки минерализации; 9 — границы рудного узла; 10 — разломы известные и предполагаемые; 11 — геологические границы; (точками на Б обозначены разломы, соответствующие пункту 10)

ных процедур фильтрации, трансформации, синтеза крупномасштабных космических снимков разных спектральных диапазонов можно получить представление о строении блока рудного поля и месторождений с ним связанных. Так, в пределах рудного поля [12] были отдешифрированы разломы, контролирующее блоковое строение одного из участков месторождения (рис. 3). При этом отчетливо наблюдаются различия в морфологии разломов, представленных на геологической карте и отдешифрированных на КС. Компьютерное дешифрирование КС не подтверждает трассирование разломов северо-западного направления в поле развития субвулканических андезитов, как это предполагалось при геологическом картировании.

Методические приемы, основанные на принципе создания *фоторобота* изображения исходного поискового критерия,

включают визуальное (т.е. качественное) и количественное сравнение изображения поискового критерия с результатами компьютерных процедур обработки космических снимков. Задача сводится к подбору последовательности компьютерных операций, объединяемых в процедуру, так, чтобы образ, полученный в результате обработки снимка, как можно точнее соответствовал образу искомого признака на карте, на которой изображен данный поисковый признак. Усилиями эксперта-оператора на ЭВМ методом последовательных приближений формируется *фоторобот* данного поискового признака, при котором все несущественные детали фотоизображения затушевываются, а само изображение по морфологии рисунка приводится в соответствие прототипу на прогнозно-геологической карте.

Применяя полученную таким образом

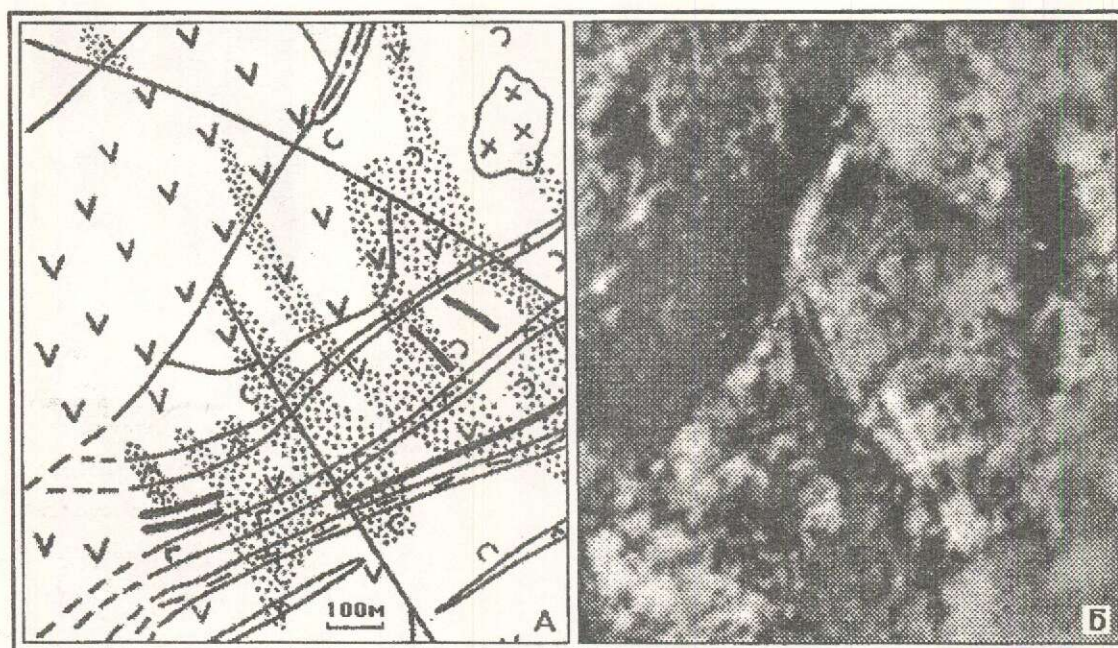


Рис. 3. Схема месторождения [12] (А) и результат компьютерной обработки космических снимков (Б):

1 — андезиты и их туфы нижней свиты; 2 — штоки меловых кварцевых диоритов; 3 — дайки риолитов второй свиты; 4 — дайки риодацитов второй свиты; 5 — дайки дацитов второй свиты; 6 — субвулканические андезиты первой свиты; 7 — рудные жилы; 8 — вторичные ореолы рассеяния золота; 9 — тектонические нарушения

процедуру к обработке космических снимков по территории, для которой делается прогноз на золото, получают распределение данного поискового признака на эту территорию; на основании полученных результатов намечаются участки заверочных работ на местности. Метод фоторобота отличается от «контрастно-аналогового» дешифрирования, основанного на типологизации фотополей (рисунка) и соответствующих им геологических структур [10]. В основе обоих методов лежит постулат о сходстве фотоизображений одинаковых по содержанию и истории развития геологических объектов, однако на этом сходство заканчивается. Методом фоторобота изучают поисковые признаки, т.е. характеристики, которые могут и не являться геологическими объектами. Например, в качестве поисковых признаков могут выступать значения  $\delta T_a$  магнитного поля, или запа-

сы (в условных единицах) месторождений, в том случае, если месторождения рассматриваются в качестве поисковых признаков точечного класса. Кроме того, «контрастно-аналоговое» дешифрирование ориентировано на поиск по КС геолого-структурных элементов, а метод фоторобота позволяет изучать такие поисковые признаки золотого оруденения как участки пиритизации, пропилитизации и т.п.

Следует отметить, что к одному и тому же поисковому признаку можно подобрать несколько фотороботов. Эффективность каждого из них определяется на количественном уровне по степени соответствия изображения данного поискового признака и его отображения на фотороботе. Там, где различия между изображениями минимальны, фоторобот может считаться наилучшим для отображения изучаемого поискового признака. Чтобы количественно определить степень соот-



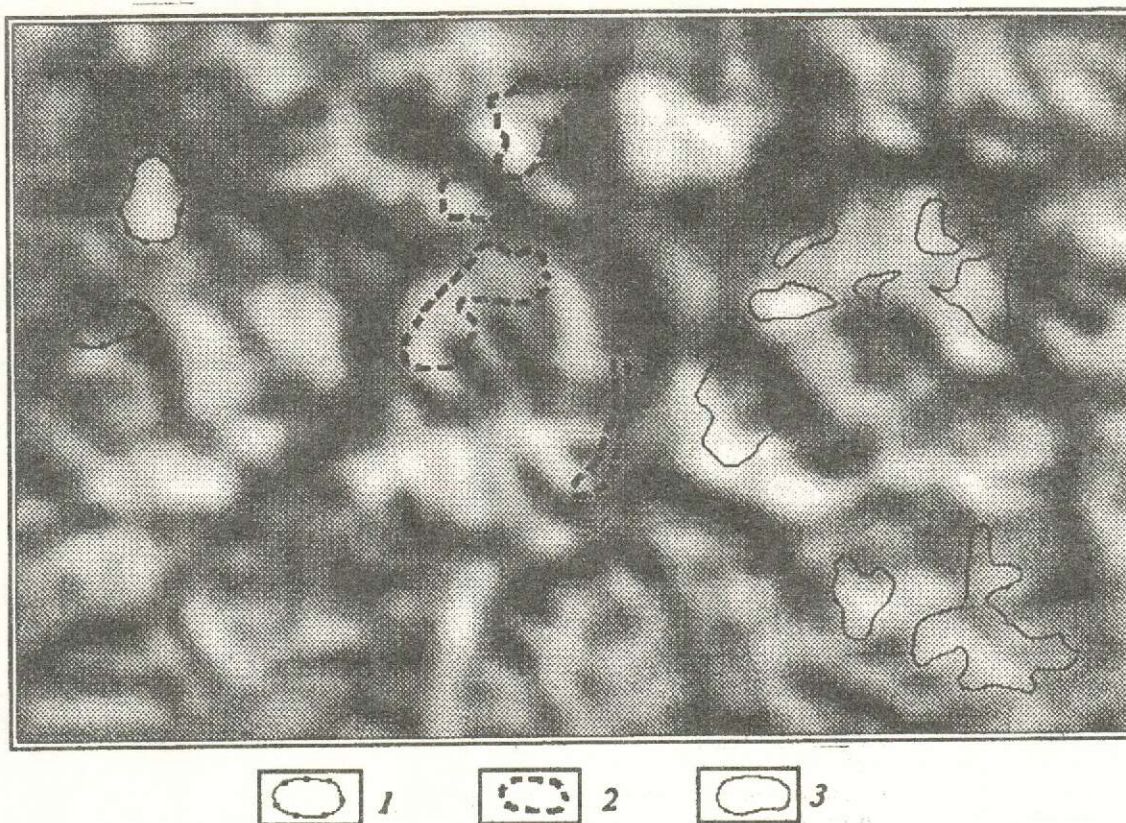


Рис. 4. Результат компьютерной обработки космических снимков: субвулканические образования:

1 — диоритовые порфиры, 2 — дацит-порфиры, 3 — риолит-порфиры

ветствия изображения поискового признака на карте с результатами обработки космических снимков на фотороботе, применяется статистический анализ сравнения двух изображений. Статистические методы с привлечением аппарата регрессионного и других видов анализа позволяют выработать количественные критерии связи изучаемых рудных объектов и результатов обработки космических снимков.

При анализе КС для выявления поисковых критериев оруденения кроме дешифрирования структурных элементов (разломов, вулcano-тектонических депрессий и т.п.), важное значение имеет *текстурная типизация* изображений. При анализе субвулканических образований, парагенетически связанных с оруденением, применения компьютерных процедур обработки КС позволило установить внутреннее «скелетное» строение изучаемой территории, отражающее ее геоло-

го-структурные и тектоно-магматические особенности (рис. 4). Компьютерное изучение геолого-структурных элементов Дукацкого рудного района также подчеркивает его внутреннюю текстуру (см. рис. 1 В, Г).

Таким образом, можно выделить три основных перспективных направления использования результатов космических съемок при прогнозно-поисковых работах на золотое и золото-серебряное оруденение.

Первое направление предусматривает изучение крупномасштабных КС для выявления участков развития пропилитов, аргиллизитов, вторичных кварцитов и других типов гидротермальноизмененных пород, связанных с оруденением.

Второе направление обусловлено необходимостью распознавания и расчленения на КС террасовых и пойменных отложений речных долин в районах интенсивной добычи россыпного золота. Компьютерная обработка круп-

номасштабных космических снимков, покрывающих большие и часто труднодоступные территории Сибири и Дальнего Востока, обеспечит эффективный прогноз россыпного оруденения. При этом на КС фиксируются новейшие изменения речной сети и тектонические подвижки.

Третье направление позволит с помощью космических данных выявить новые геолого-промышленные типы оруденения неизвестные на территории России. Например, в России неизвестны месторождения типа Витватерсранда, но есть металлогенические провинции и рудные районы, в которых такой тип оруденения можно прогнозировать, путем сравнения материалов космических съемок по месторождению Витватерсранд и этим районам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемов А.В., Гедько М.И., Пичугин Л.П. Опыт применения космических снимков для выявления закономерностей размещения золотого и оловянного оруденения // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 1982. № 3. С. 96—99.
2. Веремева Л. И. Опыт использования космических снимков при изучении рудоносных территорий // Геология рудных месторождений. 1982. № 2. С. 76—83.
3. Использование материалов аэро- и космических съемок при прогнозировании и поисках твердых полезных ископаемых / В.Б.Агентов, В.С.Андреев, А.В.Артемов и др. - М.: Недра, 1988.
4. Космическая информация в геологии / Под ред. акад. А.В.Пейве, А.В.Сидоренко, А.Л.Яншина. - М.: Наука, 1985.
5. Космогеология СССР // Н.С.Афанасьева, В.И.Башилов, В.Н.Брюханов и др. - М.: Недра, 1987.
6. Кочнева Н.Т. Сателлитные системы морфоструктур центрального типа и их рудоконтролирующее значение / Морфотектонические системы центрального типа Сибири и Дальнего Востока. 1988. С. 162—168.
7. Кочнева Н.Т., Томсон И.Н. О путях использования космических снимков при среднемасштабных металлогенических исследованиях / Исследование природной среды космическими средствами (геология и геоморфология). М., 1976. Т. V. С. 222—230.
8. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии. - М.: Мир, 1988.
9. Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов / В.И.Ваганов, А.Г.Волчков, М.М.Константинов и др. - М.: ЦНИГРИ, 1989.
10. Методические рекомендации по технологии проведения среднемасштабных нефтегазопроисковых работ / В.И.Башилов, Л.Г.Кириухин, С.М.Богородский и др. - М.: Роскомнедра. ГНПП «Аэрогеология». 1993.
11. Прогнозно-поисковый комплекс на золото-серебряное оруденение Охотско-Чукотского вулканогенного пояса: Метод. рекомендации / М.М.Константинов, Ю.С.Бочарников, С.Ф.Стружков и др. - Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР. 1989.
12. Рыжов О.Б., Стружков С.Ф., Аристов В.В. и др. Геологическое строение и состав руд золото-серебряного месторождения Джульетта (северо-восток России) // Руды и металлы. 1995. № 2. С. 66—78.
13. Ставцев А.Л., Фролов В.И. Использование космических снимков при поисках золотого оруденения // Разведка и охрана недр. 1980. № 1. С. 22—25.
14. Филатова Н.И., Дворянkin А.И., Дорогутин А.И. и др. Главнейшие разломы северной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса по космическим данным // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 1982. № 3. С. 22—29.
15. Gregory A.F. Remote sensing in the search for metallic ores: a review of current practice and future potential. - Geophysics and Geochemistry in the search for metallic ores // Geol. Surv. Can. Economic Geology. Report 31. 1979. P. 511—526.

G. A. Milovsky, D. M. Bachmanov

#### OPTIMIZATION OF SPACECRAFT-BORNE SURVEYING DATA USE IN FORECASTING GOLD-SILVER ORE DEPOSITS IN MAGADANSKAYA OBLAST

*Some results of computer processing of spacecraft-borne images aimed at revealing the indications of ore knots, ore fields and gold-silver deposits in Magadanskaya Oblast are presented. Some ways to optimize the processing of spacecraft-borne data obtained in surveying performed by Russian spacecrafts are proposed. A specialized photorobot technique based on expert-computer-aided comparison of geological and spacecraft-borne data has been developed. Major leads of using spacecraft-borne surveying in prediction of gold occurrences are proposed for future.*

УДК 518:528.946:550.84)

©М. Ю. Федоров, 1996

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

М. Ю. ФЕДОРОВ (ИМГРЭ Роскомнедра)

*Рассматриваются вопросы математической обработки изображений при создании электронных геохимических и геологических карт. Для улучшения изображений предлагается использовать медианные фильтры. Излагаются методы получения псевдообъемности плоских изображений на ПЭВМ, что помогает существенно улучшить наглядность электронных карт. Предложенные методы могут быть использованы при построении любых карт. Компьютерная программа иллюстрирует применимость изложенных методов.*

Геохимическая карта — это двумерное представление о некоторой области, полученное в результате масштабных преобразований реальных пространственных соотношений концентраций микроэлементов. Зависимости, изучаемые на геохимических картах, задаются с помощью точек. При этом некоторые значения величин, приписанные каждой точке, рассматриваются как функции координат этих точек. Фактически геохимическая карта представляет собой графическое отображение оценок значений некоторых непрерывных функций, вычисляемое по результатам наблюдений в дискретных точках, причем результирующее изображение (реконструкция) характеризуется некоторой конечной точностью и не отражает ряда деталей в силу отсутствия данных между точками.

Слово «изображение» подразумевает получение карты в машинном представлении, как на экране монитора, так и на твердом носителе, распечатке принтера, рисунке плоттера и т.д. К методам реставрации (восстановления) изображений с улучшением их визуального качества относится «масштабирование» изображений. Современные технические средства имеют разное графическое разрешение в зависимости от количества точек на дюйм (dpi), предусмотренного в конкретном устройстве. Так большинство мониторов имеют разрешение 96 dpi, тогда как принтеры в зависимости от модели могут использовать разрешение 180, 300, 360, 600 dpi. В результате, если не масштабировать изображения при отобра-

жении на различных устройствах, результаты могут иметь различные линейные размеры. Одним из способов сохранения линейных размеров изображений на разных устройствах является метод варьирования количества точек, составляющих изображение. Практически все графические редакторы, с разным успехом, позволяют это делать. Например, простейший графический редактор «Paint Brush» (и ему подобные), поставляемый с полной версией Microsoft Windows, при увеличении линейных размеров изображения ставит в соответствие каждой точке исходного изображения некоторый прямоугольник. Тогда результирующее изображение имеет «зазубренный» вид, что несколько мешает восприятию. Более профессиональные графические редакторы позволяют сгладить зазубренность за счет смещения граничных цветов. В результате выходное изображение имеет гладкий цветовой переход между точками исходного изображения. Такой подход хорош, если растровый графический редактор ориентирован на обработку фотоизображений. К отличительным особенностям метода относятся появление в результирующем изображении точек со значениями, не принадлежащими области значений исходного изображения. Отсюда следует, что метод мало пригоден для классов изображений, в которых появление точек с новыми значениями не имеет смысла или даже вредно. К таковым относятся элементы геохимических карт, на которых изображается соотношение внутренне однородных по дискриминантным

признакам объектов. Описанное выше сглаживание дает побочный эффект, заключающийся в размывании границ между областями, принадлежащими разным дискриминантным классам, что нежелательно, т.к. на геолого-геохимических картах иногда весьма важно сохранить дискретность границ между объектами этого типа.

Возникает необходимость в методах сглаживания изображений, которые позволяли бы сохранять как множество значений исходного изображения, так и содержательно обособленные границы между дискретно различающимися областями.

**Медианные фильтры.** Линейные пространственно-инвариантные (ЛПИ) фильтры полезны для реставрации и улучшения визуального качества изображений [6, 7]. Их можно применять, например, при реализации винеровских фильтров с целью снижения уровня шума на изображениях. Однако, чтобы подавить шум и при этом сохранить контурную часть изображений, приходится применять нелинейные или линейные пространственно-неинвариантные (ЛПНИ) фильтры. Одним из таких методов, популярных в последнее время в обработке изображений, является медианная фильтрация. Последняя может применяться также при решении задач, связанных с распознаванием, таких как утонение линий и выделение небольших изолированных объектов на изображении. Обнаружено, что применение медианных фильтров эффективно для подавления некоторых видов шума и периодических помех без одновременного искажения сигнала [10, 5, 8].

Особенно удобны медианные фильтры для борьбы с импульсным (точечным) шумом [4]. В целом их применение позволяет подавить большую часть помех шумовых выбросов, в то время как линейное сглаживание оказывается совершенно неэффективным. Кроме того, медианный фильтр дает намного лучшие результаты в отношении снижения числа выпадений строк и сохранения резкости контуров, хотя для подавления гауссовского шума более эффективно линейное сглаживание.

Медианная фильтрация осуществляется посредством движения некоторой апертуры (окна сглаживания) вдоль дискретизированного изображения (последовательности) и

замены значения элемента изображения в центре апертуры медианой исходных значений отсчетов внутри апертуры. Обычно получается более гладкое, по сравнению с исходным, результирующее изображение.

В рассматриваемых ситуациях медианная фильтрация предпочтительней классической процедуры линейного сглаживания. Она имеет следующие основные преимущества:

сохраняет резкие перепады, тогда как линейная низкочастотная фильтрация их смазывает;

очень эффективна при сглаживании импульсных шумов (эти свойства пояснены на рис. 1);

результирующее значение, полученное с помощью медианной фильтрации при апертуре с нечетной стороной, совпадает с одним из значений отсчетов внутри апертуры, тогда как линейная низкочастотная фильтрация дает некоторое среднее значение.

Последнее из перечисленных свойств медианных фильтров особенно полезно с той точки зрения, что при сглаживании классификационных карт, например, карт с развитием объектов, различающихся аналитически на фоновых уровнях, результирующее значение будет принадлежать к одному из существующих геохимических классов (типов), тогда как некоторое среднее значение в этом случае не представляет никакого смысла. Другими словами, получается результирующая карта, основанная на том же базисе значений, что и исходная. При этом границы областей сохраняются, но становятся более гладкими.

**Одномерные медианные фильтры.** Медианой последовательности  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ,  $n$  — нечетное, является значение срединного члена ряда, упорядоченного по возрастанию значений. Для четного  $n$  медиана определяется как среднее арифметическое двух средних членов.

Обозначим медиану следующим образом:  $M_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Например:  $M_5(0, 3, 4, 0, 7) = 3$ .

Медианный фильтр длиной  $n$  последовательности  $\{x_i, i \in Z\}$ , для нечетных  $n$  определяется как  $y_i \stackrel{\text{def}}{=} M_n(x_{i-p}, \dots, x_i, \dots, x_{i+p})$ ,

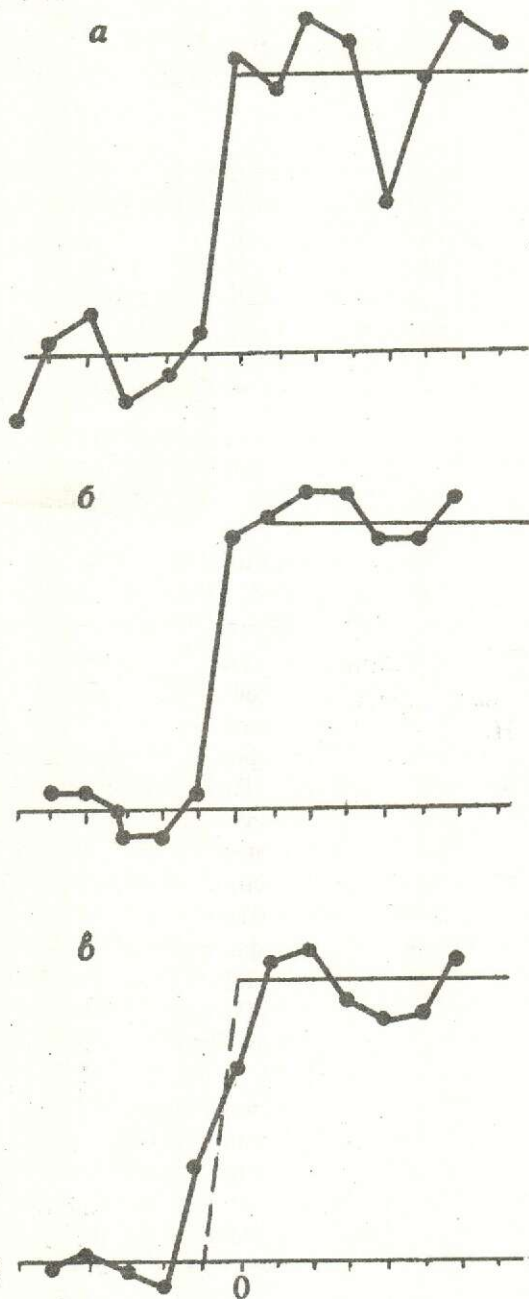


Рис. 1. Сравнительный анализ применения медианной фильтрации и скользящего среднего при линейном размере апертуры  $n = 3$  к последовательности сигналов:

*а* — граница плюс шум, *б* — после медианной фильтрации, *в* — после скользящего среднего

$i \in Z$ , где  $\nu = (n - 1) / 2$ , а  $Z$  — обозначает множество всех натуральных чисел.

Легко видеть, что медианный фильтр сохраняет перепады, консервирует дискретную границу, тогда как соответствующая фильтрация путем вычисления скользящего среднего арифметического  $z_i = (x_{i-\nu}, \dots, x_i, \dots, x_{i+\nu}) / n$ ,  $i \in Z$ , превращает перепад в пологий скат шириной  $n$  [4].

Двумерные медианные фильтры. Поставим в соответствие двумерному изображению матрицу чисел  $\{x_{ij}, j\}$ , где  $(i, j)$  изменяются по  $Z^2$  или по некоторому подмножеству  $Z^2$ .

Двумерный медианный фильтр с апертурой  $A$  для матрицы чисел  $\{x_{ij}, (i, j) \in Z^2\}$  определяется как

$$y_{ij} = M_A [x_{i+r, j+s}; (rs) \in A], (i, j) \in Z^2.$$

Можно использовать различные формы апертур  $A$  фильтра, например, линейные сегменты, квадраты, круги, кресты, квадратные рамки, кольца. Некоторые из них показаны на рис. 2.

Форма колец на рис. 2, *е* была выбрана так, что число точек в каждом кольце приблизительно пропорционально площади соответствующего правильного кольца.

Один из простых приемов нахождения выходного сигнала медианного фильтра вблизи конечных и пограничных точек в конечных последовательностях и изображениях состоит в том, что находится медиана только тех точек внутри изображения, которые попадают в пределы апертуры. Для точек, расположенных в ближайшей окрестности границы, медианы определяются из меньшего, чем в апертуре  $A$ , подмножества точек.

Сохранение перепадов. Под изображением перепада дискретной границы мы понимаем изображение, в котором точки по одну сторону границы имеют одинаковое значение  $a$ , а все точки по другую сторону — значение  $b$ ,  $a \neq b$ .

Следующее утверждение представляет фундаментальное свойство медианных фильтров. Если апертура  $A$  симметрична относительно начала координат и содержит его в себе, т.е. если

$$(r, s) \in A \Rightarrow (-r, -s) \in A \quad (1),$$

$$(0,0) \in A \quad (2),$$

то медианный фильтр сохраняет любое изображение перепада. Условия (1) и (2) выполняются для всех апертур рис. 2, кроме квадратной рамки и колец, которые не содержат начала координат. Тем не менее квадратные рамки и кольца лишь незначительно изменяют «перепад». Точно так же ведут себя фильтры с другими формами апертуры, при условии выполнения (1) и (2).

**Программа «Ю».** С учетом свойств медианных фильтров автором написана программа для 32 разрядных ОС семейства Windows, типа Microsoft Windows 95, Windows NT 3.5\*. Программа предназначена для увеличения линейных размеров изображений, сглаживания изображений посредством квадратных апертур с заданным линейным размером и положением медианы и создания эффекта псевдообъемности изображения на плоскости при графическом представлении карт геолого-химического содержания. Для наглядности ниже приводятся результаты применения программы к одному и тому же изображению моноэлементной геохимической карты (Ga).

Программа выполнена с использованием консольного интерфейса, что очень удобно для ее применения в командных файлах, типа bat-файлов, известных пользователям MS-DOS. При запуске программы указываются шесть входных параметров, обеспечивающих достаточную гибкость в управлении выходным изображением. Варьируя входные параметры, можно изменять отношение линейных размеров входного и выходного изображений, линейный размер апертуры, толщину границ между областями и условия сравнения различных областей.

Поскольку при медианной фильтрации сохраняются перепады между различными областями, то они сохраняются и при итеративном применении медианных фильтров [12, 11]. На рис. 3, в изображен результат итеративного применения программы к файлу Ga.bmp. Размер апертуры в данном эксперименте последовательно изменялся с 9 до 3, пробегая нечетные числа, что приводит к наилучшим результатам.

Рисунок 3 демонстрирует эффективность сглаживания на примере входного

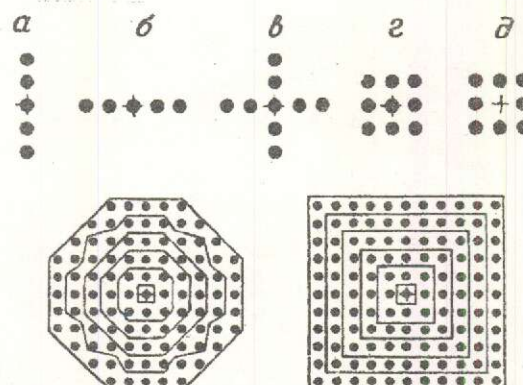


Рис. 2. Примеры апертур для медианных фильтров:

*a, б* — линейные сегменты, *в* — крест, *г* — квадрат, *д* — квадратная рамка, *е* — круги и кольца, *ж* — квадраты и квадратные рамки

файла Ga.bmp при увеличении его линейных размеров в 4 раза. Из-за огромных размеров результирующего изображения (около 88 Мб) на рисунке 3 отображены небольшие соответствующие фрагменты.

Несколько слов о размерах. Для данного приложения платформа Win32 была выбрана не случайно. Под данной платформой каждый процесс может выделить до 4 Гбайт ( $2^{32}$  байт) памяти [3]. Таким образом, с учетом особенностей алгоритма и ограничений, накладываемых различными реализациями платформы Win32, размер обрабатываемых графических файлов не может превышать 1 Гбайта. Поскольку для кодировки истинного цвета одной точки нужно 3 байта цвета, линейный размер максимального квадратного образа составляет 16384 точки. Отсюда следует, что на принтере с разрешающей способностью 300 dpi линейный размер максимального квадратного образа составит 136,5 см. Таким образом, возможные ограничения могут возникнуть только со стороны периферийных устройств. Ограничения, накладываемые платформой Win32, несколько шире, чем связанные с уровнем развития современных технических средств. Платформа Win32 имеет еще ряд преимуществ перед платформой Win16, но их обсуждение выходит за рамки статьи.

**Формат истинного цвета.** Внутренним форматом для кодирования растровых гра-

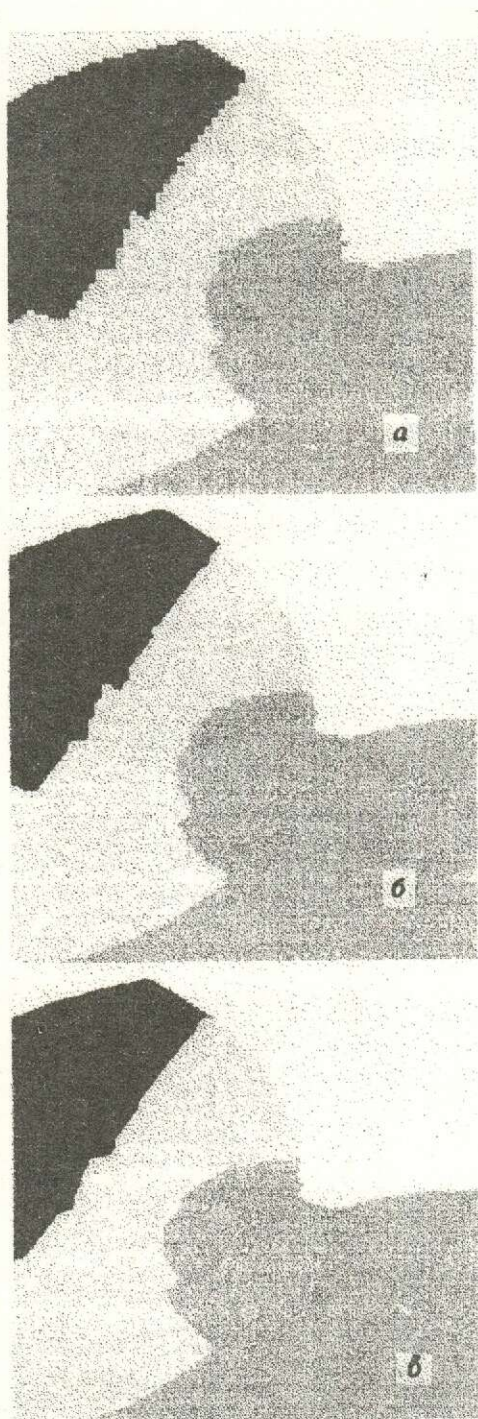


Рис. 3. Эффективность сглаживания медианных фильтров на примере моноэлементной геохимической карты (Ga):

*a* — увеличение в 4 раза, без сглаживания, *б* — увеличение в 4 раза, со сглаживанием, линейный размер апертуры 5, *в* — увеличение в 4 раза с итеративным сглаживанием

фических изображений в Windows является BMP-формат. Средствами BMP-формата можно кодировать растровые образы четырех типов: двухцветные, 16-цветные, 256-цветные и полноцветные (True type color) до 16,7 млн. цветов [2, 9]. Именно поэтому, данный формат используется в программе. Создаваемые геологами изображения часто исключительно многоцветны. Однако 256 цветов в соответствии с легендой стандартных геологических и геохимических карт бывает достаточно. Появление высококлассного периферийного оборудования дает возможность создавать изображения фотографического качества и тиражировать их. Второй важной особенностью геохимических карт, подталкивающей к переходу на полноцветные изображения, является необходимость отображения нескольких ассоциаций различными палитрами цветов. Примером может служить задача совмещения нескольких изображений: вставка геохимической карты участка в «геологическую рамку». Если каждое из входных изображений имеет по 256 собственных цветов, то результирующее изображение невозможно сохранить в BMP-формате с кодировкой в 256 цветов без потери качества. Поскольку аппаратура позволяет создавать и обрабатывать полноцветные изображения, автору представляется целесообразным переход на полноцветную кодировку.

Отрицательным эффектом такой кодировки является огромный размер файлов изображений. Так, демонстрационный файл Ga.bmp с размером изображения 1108×1661 занимает 5,5 Мбайт на диске компьютера. Но возросшие технические возможности компьютеров позволяют преодолеть и это неудобство, тем более, что такое изображение необходимо только перед выводом на печать.

**Псевдообъемность на плоскости.** В практике графической обработки геохимических данных есть опыт по созданию эффекта псевдообъемности у двумерных изображений. Один из таких способов — псевдоосвещение источником света карты изолиний и прорисовка теней получаемого рельефа на исходном изображении. В программе фиксировано положение источника света в левом верхнем углу изображения. Примеры применения программы иллюст-

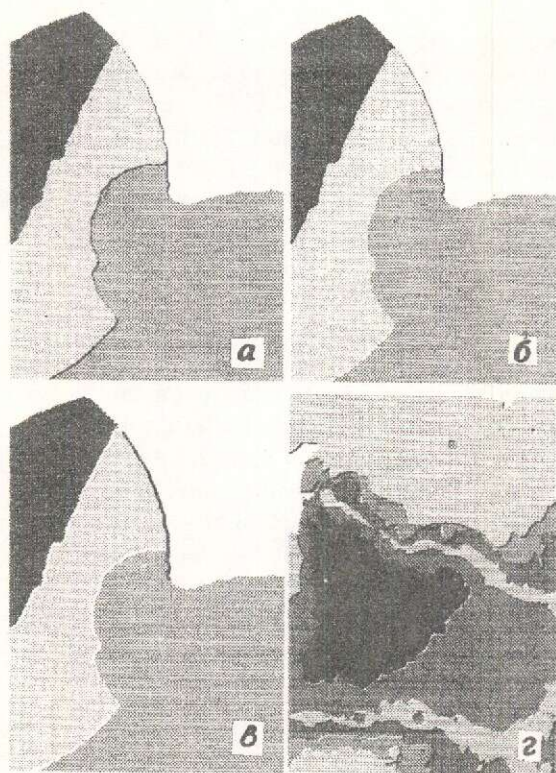


Рис. 4. Создание эффекта псевдообъемности у двумерных изображений:

а — толщина границ 1, порядок сравнения цветов RGB,  
 б — толщина границ 1, порядок сравнения цветов rgb,  
 в — толщина границ 2, порядок сравнения цветов gRb,  
 г — толщина границ 1, порядок сравнения цветов RGB

рирует рис. 4. На рисунке хорошо видно, что толщину теней можно регулировать.

Кажущаяся трехмерность делает изображение более наглядным, так что оно

легче воспринимается пользователями. Предложенные методы могут быть использованы при построении любых карт и являются предметно универсальными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коган Б.С., Гинзбург Л.Н., Буренков Э.К. Теория и практика геохимических поисков. Моделирование структуры геохимического поля на ЭВМ. — М.: Наука, 1990.
2. Просис Дж. Формат файла BMP. PC Magazine/Russian edition. 3/95. P. 180—181.
3. Рихтер Дж. Windows для профессионалов (программирование в Win32 API для Windows NT 3.5 и Windows 95) / Пер.с англ. — М.: Издательский отдел «Русская Редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.», 1995.
4. Хуанг Т.С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. Преобразования и медианные фильтры. — М.: Радио и связь, 1984.
5. Frieden B.R. J.Opt. Soc. Am.66, 280—283 (1976).
6. Huang T.S.(ed.) Two-Dimensional Digital Signal Processing I: Linear Filters, Topics in Applied Physics, Vol. 42- Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1981.
7. Huang T.S.(ed.) Picture Processing and Digital Filtering. 2nd ed.-Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1979.
8. Huang T.S., Yang G.J., Tang G.Y. IEEE Trans. ASSP-27,13— 18 1979.
9. Microsoft Windows Programmer's Reference, Volume 4: Resources. Symantec Corporation, 1993.
10. Pratt W.K. Median Filtering // Semiannual report, Image Processing Inst., Univ. of Southern California, Sept. 1974. P. 116—123.
11. Pratt W.K. Digital Image Processing.-P. Wiley, New York, 1978.
12. Tukey J.W. Exploratory Data Analysis.-Addison-Wesley, Reading, Mass., 1977.
13. Weeksung G.W., Campbell K. Computer. 1974. 7. P. 63—71.

М. Yu. Fedorov

#### USE OF RASTER IMAGES IN SPATIAL GEOCHEMICAL DATA PROCESSING

*Problems of mathematical image processing during the generation of geochemical and geological maps on a computer are dealt with. Median Filtering is proposed to improve image quality. Pseudo solid modeling methods for plane images are advised to be used so as to improve a looking of the computer maps. These procedures can be used for all kinds of maps. A computer program demonstrates good results of applying these methods.*



# СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.41.073/477.63/

© Л. С. Галецкий, С. М. Доброхотов, 1996

## ЗОЛОТОРУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ СРЕДНЕГО ПРИДНЕПРОВЬЯ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

Л. С. ГАЛЕЦКИЙ, С. М. ДОБРОХОТОВ (ГП «Геопрогноз»)

*На территории Среднего Приднепровья Украинского щита в зеленокаменных структурах архея находятся золоторудные месторождения — Балка Широкая и Северо-Сергеевское. Месторождения относятся к золото-железисто-кремнистой формации. Сингенетическое золотое оруденение локализовано в породах соленовской свиты и генетически связано с плагиориодацитами сурского комплекса ( $3120 \pm 35$  млн. лет). Эпигенетическое золотое оруденение связано с риодацитами мокромосковского и токовского комплексов (2800—2600 млн. лет).*

По данным анализа мировых минеральных ресурсов [1], большая часть запасов руд важнейших металлов сконцентрирована в докембрийских толщах, %: Fe — 81, Mn — 89, Cr — 98, Ti — 40, V — 95, Ni — 34, Co — 63, Cu — 30, Pb — 24, Zn — 28, Pt — 99, U — 57. Особое значение имеют докембрийские золоторудные месторождения, на долю которых приходится 87 % общей мировой добычи зарубежных стран и 73 % запасов (исключая страны СНГ). Из числа этих месторождений на архейские зеленокаменные пояса в кратонах Австралии, Канады, Южной Африки, Бразилии и Индии приходится 20 % добычи золота. В связи с почти полным отсутствием добычи золота на Украине изучение зеленокаменных поясов и золотых рудопроявлений в них представляет первоочередную задачу.

В настоящее время на Среднеприднепровском блоке Украинского щита производится проходка шахты на золоторудном месторождении Балка Широкая (Чертомлыкский синклиорий) и предполагается проходка шахты на золоторудном месторождении Балка Золотая (Сурский синклиорий). В Сурском синклиории находятся также золоторудное месторождение Южное, расположенное в 1 км к юго-западу от месторождения Балка Золотая, и золоторудное месторождение Северо-Сергеевское в 4 км к

юго-западу от месторождения Южное. Эти месторождения во многом сходны по геологическому строению, хотя есть и отличия. К чертам сходства относятся:

докембрийский возраст с преобладанием архейских пород;

наличие зеленокаменных структур с мощной (1500—2000 м) подстилающей метабазитовой толщей;

сингенетические золоторудные зоны в пластах осадочно-вулканогенной толщи с наличием пород железисто-кремнистой формации, генетически связанные, преимущественно, с кислым вулканизмом;

эпигенетические золоторудные зоны в виде кварцевых жил и прожилков, генетически связанные с более молодыми фазами кислого вулканизма.

Золоторудное месторождение Балка Широкая находится в северо-восточной части Чертомлыкского синклиория, который расположен в юго-западной части Среднеприднепровского блока и входит в состав южной части Базавлукского зеленокаменного пояса, имеющего субмеридиональное простирание. Синклиорий имеет овальную форму размером  $35 \times 12$ —15 км и ориентирован в северо-восточном направлении (рис. 1). В его строении принимают участие породы конкской (нижней) серии с изотопным возрастом от  $3370 \pm 45$  до 3070 млн. лет [2] и белозерской (верхней) серии — от

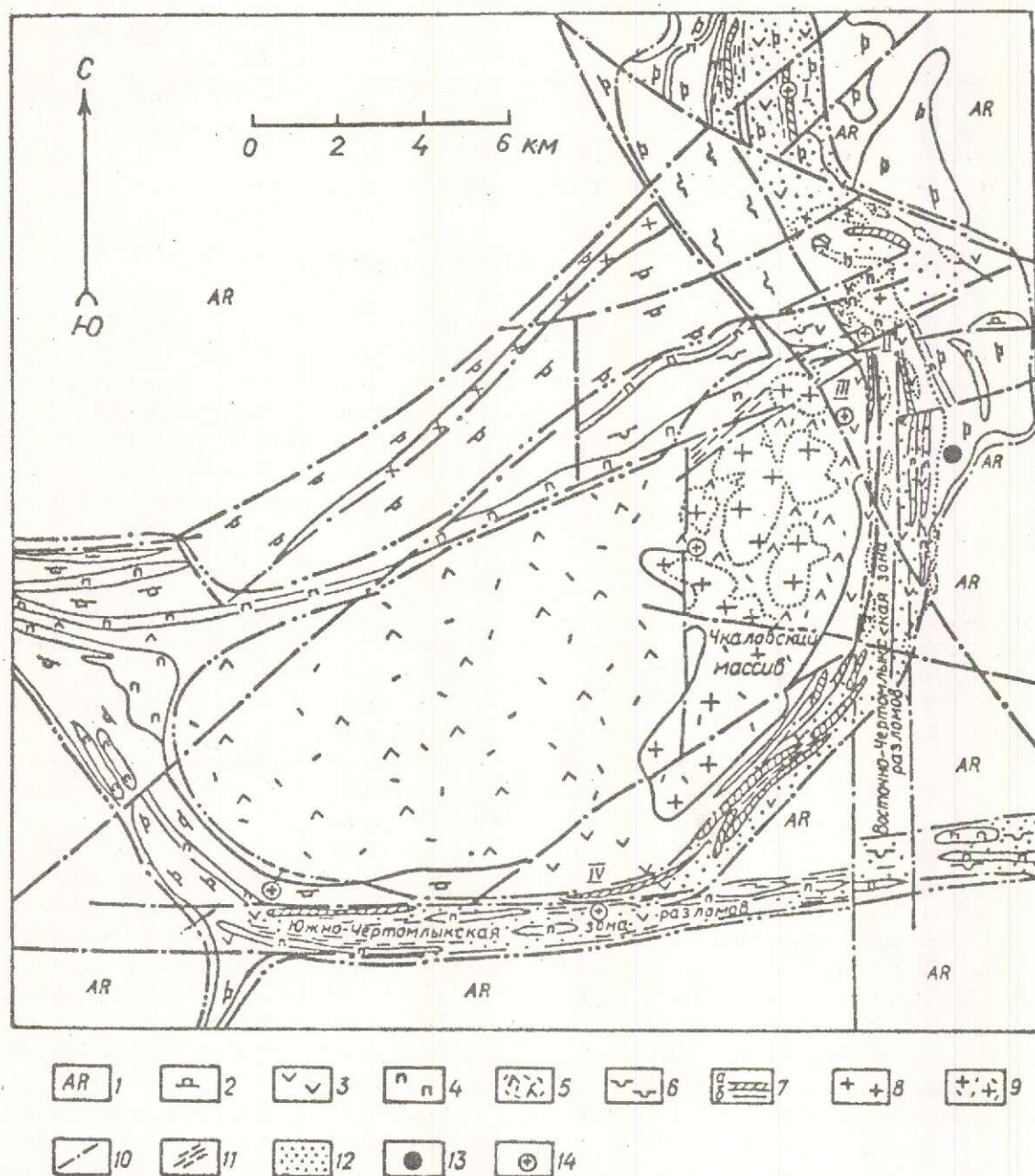


Рис. 1. Геологическая карта Чертомлыкского синклиория [5]:

1 — породы архейского кристаллического основания; конкская серия: 2 — амфиболиты, 3 — metabазиты (метаэффузивы основного состава) с участками развития пород более кислого состава (нерасчлененные), 4 — гипербазиты (метаэффузивы ультраосновного состава), 5 — метаэффузивы среднего и кислого составов с участками основного состава (нерасчлененные), 6 — зеленые сланцы по вулканогенно-осадочным образованиям; 7 — железисто-кремнистая формация: а — железистые кварциты нормальной мощности, б — железистые кварциты малой мощности; 8 — плагиограниты днепропетровского комплекса; 9 — плагиогранит-порфиры (субвулканические интрузии); 10 — разломы; 11 — зоны расщепления; 12 — зоны метасоматоза; 13 — золоторудное месторождение Балка Широкая; 14 — золоторудные объекты

3000±15 до 2965±10 млн. лет [3, 4]. Месторождение перекрыто чехлом осадочных пород, мощность которых, включая кору выветривания, достигает 100—150 м. Золотое оруденение приурочено к верхней части разреза конкской серии среди пород соленовской свиты [5]. В составе рудоносной толщи выделены следующие пачки пород (снизу вверх): *первая пачка* (вулканогенно-осадочная) сложенная преимущественно кварц-хлоритовыми и кварц-серицит-хлоритовыми карбонатсодержащими сланцами, доломитами с подчиненными маломощными прослоями метавулканитов основного и кислого (плаггиориодациты) составов. В верхней части разреза этой пачки наблюдаются прослои кварцитов карбонатных и сульфидно-карбонатных магнетитсодержащих, а также пластовые тела метаморфизованных ультраосновных пород — серпентиниты, тальк-карбонатные породы, карбонат-актинолитовые сланцы и актинолититы. *Вторая пачка* представлена метавулканитами основного состава, метадиабазами и метагаббродиабазами, переслаивающимися с линзами, пластами и маломощными горизонтами железистых кварцитов, кварц-хлоритовых, кварц-хлорит-серицитовых и кварц-серицитовых сланцев. На отдельных участках присутствуют туфы средних и кислых вулканогенных пород. *Третья пачка* сложена метавулканитами основного состава и их туфами, включая согласные тела метадиабазов и метагаббродиабазов. Наблюдаются единичные пласты железистых кварцитов, которые переслаиваются с кварц-хлоритовыми сланцами. *Четвертая пачка* представлена согласными телами плаггиориодацитов с подчиненными пластами сульфидсодержащих кремнистых пород, в том числе и пиритовых кварцитов.

Северо-Сергеевское золоторудное месторождение находится в центральной части Среднеприднепровского блока с некоторым смещением к северу от центра блока и расположено в юго-восточной части Сурского синклиория. Этот синклиорий имеет овальную форму размером 35×12—17 км и ориентирован в северо-западном направлении (рис. 2). В строении синклиория принимают участие породы конкской (нижней) и белозерской (верхней)

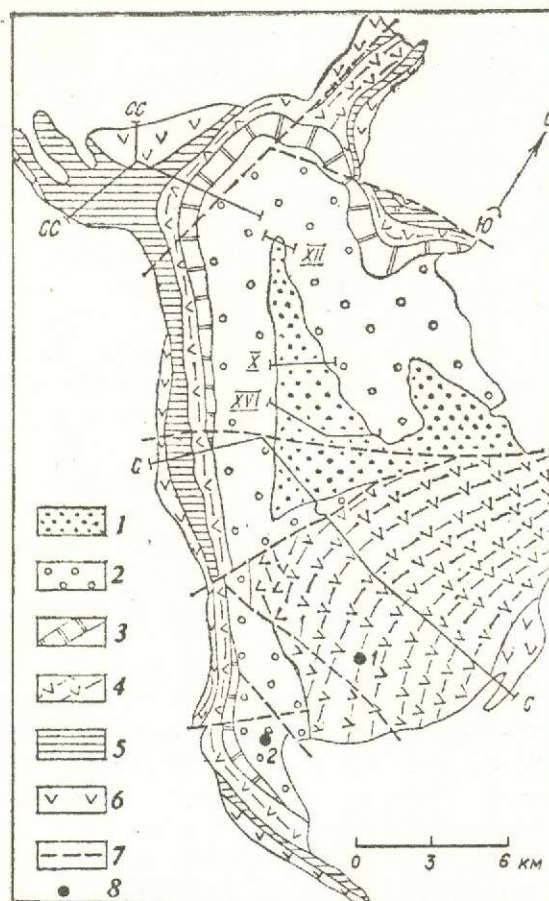


Рис. 2. Геологическая карта Сурского синклиория [6]:

формации: 1 — порфирит-туфовая, 2 — порфиритовая, 3 — туфо-железисто-кремнистая, 4 — спилит-кератофир-туфовая, 5 — серпентинитовая (дунит-гарцбургитовая), 6 — метабазитовая; 7 — разломы; 8 — золоторудные месторождения (1 — Балка Золотая, 2 — Северо-Сергеевское). Профили глубинного картирования: С—С — Сурский, СС—СС — Северо-Сурский

серий архея. Как и на месторождении Балка Широкая оруденение сосредоточено в верхней части разреза конкской серии среди пород соленовской свиты. В строении соленовской свиты наблюдается не менее 5 ритмов осадочно-вулканогенных пород мощностью от 7 до 30 м каждый [7]. Ритм представлен пачкой пород, в которой разновидности пород связаны взаимопереходами (снизу вверх). *Первая пачка* (вулканогенно-осадочная) сложена кварц-хлоритовыми и кварц-серицит-хлоритовыми сланцами с примесью пирокластического

материала, туфосланцами и туфами плагиориодацитового состава. Количество пирокластического материала в породах ритма достигает 15—20 %. *Вторая пачка* представлена кварцитами карбонатсодержащими с сульфидами или магнетитом, а также туфосланцами, обогащенными карбонатами. Количество карбонатов в породах составляет 25—50 %, их состав изменяется от железистого доломита до анкерита. *Третья пачка* сложена кварцитами магнетит-сульфидными и (или) сланцами кварц-хлоритовыми и кварц-серицит-хлоритовыми с сульфидами и магнетитом. Количество сульфидов колеблется от 8 до 40 %. *Четвертая пачка* представлена сланцами кварц-хлоритовыми с сульфидами ( $\pm$ альбит,  $\pm$  карбонаты, ильменит, магнетит).

**Рудная минерализация.** В структурном отношении золоторудное месторождение Балка Широкая находится на северо-восточном крыле Чертомлыкского синклиория, строение которого осложнено Восточно-Чертомлыкской зоной разломов, имеющей ширину около 3 км [5]. Зона субсогласна с вмещающими породами и выражена системой узких участков рассланцевания, милонитизации, катаклаза и брекчирования. Главная зона разломов разбита на отдельные блоки поперечной системой разломов длиной по простиранию в первые километры. Рудовмещающая толща пород имеет очень крутое падение на северо-восток под углом 80—85°, мощность ее около 80 м. Золотоносные зоны месторождения Балка Широкая приурочены ко второй пачке пород, которая весьма изменчива фациально по простиранию и содержит многочисленные пласты железистых кварцитов. Эти пласты состоят из ритмически чередующихся слоев кварца, магнетита и присутствующих в переменных количествах хлорита, амфибола и биотита, а также карбонатов и сульфидов. Карбонатные (сидеритовые, сидероплезитовые, иногда анкеритовые) и сульфидные (пиритовые, пирит-пирротиновые с халькопиритом, галенитом, сфалеритом и арсенопиритом) разновидности кварцитов характерны для золотоносных зон и занимают определенное положение в разрезе: обычно в подошве и кровле пластов железистых кварцитов. Их мощность от нескольких де-

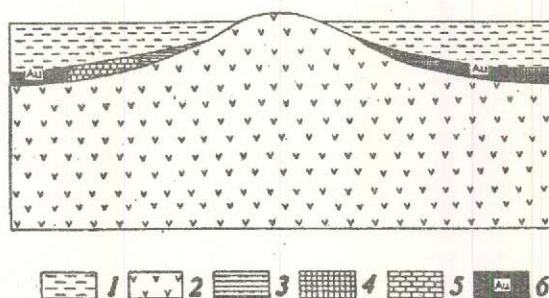


Рис. 3. Схема фаций пород железисто-кремнистой формации [12]:

1 — морской бассейн; 2 — зеленокаменные породы; железисто-кремнистая формация; 3 — окисная фация, 4 — окисная и/или карбонатная фация, 5 — карбонатная фация, 6 — сульфидная фация

сятков сантиметров до нескольких метров. Золоторудную минерализацию в породах железисто-кремнистой формации и метаморфизованных осадочно-вулканогенных породах мы относим к сингенетической (рис. 3).

После образования отложений конкской серии площадь золоторудного месторождения Балка Широкая подверглась интенсивному воздействию дизъюнктивной тектоники. В зонах разломов и трещин породы метасоматически преобразованы — лиственитизированы, пропилитизированы и березитизированы под воздействием газовой-жидкой флюидов вулканитов преимущественно кислого состава. Эти изменения можно видеть в разнообразных сланцах (кварц-хлоритовых, кварц-карбонат-хлоритовых, кварц-хлорит-серицитовых, кварц-серицитовых, карбонат-талковых и т.п.), среди которых сохранились реликты первичных пород. В дизъюнктивных нарушениях сосредоточены жилы и прожилки кварцевого и карбонат-кварцевого состава, которые содержат три типа руд золота [5].

1. *Золото-сульфидно-кварцевые руды* с прожилково-вкрапленными и брекчиевыми текстурами содержат сульфиды от 3 до 15 %, иногда до 90 %. В этих рудах сульфиды при большом их содержании являются цементирующей массой. Главные рудные минералы — пирит, пирротин и самородное золото; второстепенные — халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, магнетит,

иногда самородное серебро. В некоторых пересечениях количество арсенопирита в рудах резко возрастает (до 55 %). Основным минералом-концентратором золота является пирит, на поверхности которого оно сорбировано, реже эту роль выполняет арсенопирит при высоких содержаниях последнего. Наибольшее количество самородного золота приурочено к зальбандам карбонат-пирит-кварцевых жил и прожилков на контакте с железистыми кварцитами. Средний размер золотин 50—100 мкм.

2. *Золото-кварцевые руды* также имеют брекчиевые текстуры. Золотоносные зоны, включающие их, представлены сетью кварцевых жил и прожилков мощностью от 0,5 до 50 см. В кварце наблюдаются отдельные зерна и редкие гнезда сульфидов (пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит), карбонатов и единичные зерна самородного серебра. Золото распределено в кварце в виде единичных золотин или гнездообразной вкрапленности. Средний размер золотин 25—100 мкм.

3. *Золото-полиметаллические руды* образуются без участия железистых кварцитов и приурочены к зонам окварцевания и сульфидизации в лиственитах. В них сульфиды имеют сетчато-сгустковое распределение и представлены пиритом, галенитом, сфалеритом, реже — халькопиритом, пирротином, арсенопиритом и марказитом. Нередко встречаются блеклые руды и сульфосоли серебра, представленные тетраэдритом, теннантитом, буланжеритом, фрейбергитом, пираргиритом; отмечается самородное серебро. Самородное золото содержится в кварце в виде отдельных золотин, а также совместно с пиритом, сфалеритом, галенитом и арсенопиритом. Перечисленные три типа руд золота являются эпигенетическими.

Сингенетические руды Северо-Сергеевского золоторудного месторождения, так же как и руды месторождения Балка Широкая, приурочены к породам железисто-кремнистой формации, однако здесь эта формация имеет ограниченное и маломощное развитие. Золотоносные зоны находятся в третьей пачке (сульфидная фация) каждого ритма, где количество сульфидов составляет 5—40 %. Среди сульфидов наблюдаются пирит, пирротин, халькопирит,

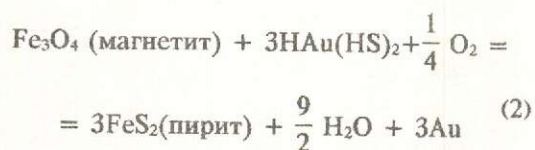
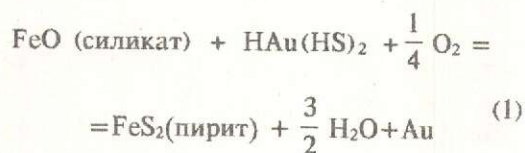
галенит, сфалерит, арсенопирит и др., магнетит, самородное золото и реже самородное серебро. Сульфиды и самородное золото присутствуют также во второй пачке пород (карбонатная фация), однако в значительно меньших количествах.

Эпигенетические руды на Северо-Сергеевском месторождении золота находятся на площадях, подвергшихся интенсивному воздействию дизъюнктивной тектоники. Оруденение наблюдается в многочисленных жилах и прожилках мощностью от нескольких сантиметров до нескольких метров, которые имеют сульфидно-кварцевый, карбонат-сульфидно-кварцевый и сульфидно-карбонат-альбитовый состав. Сульфиды встречаются в виде вкрапленности отдельных зерен или гнездообразных скоплений их. Нередко наблюдается брекчиевая текстура, где цементирующей массой являются сульфиды. Среди сульфидов присутствуют пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит и др., самородное золото и реже самородное серебро, а также теллуриды свинца, висмута и серебра.

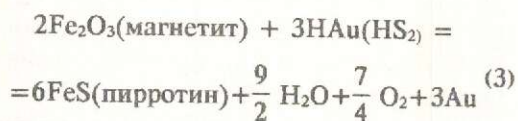
Золоторудные месторождения Балка Широкая и Северо-Сергеевское образовались в сходных геологических условиях. Вмещающий их стратиграфический разрез идентичен и лишь частично отличается литологией осадочных пород и цикличностью образования вулканогенных пород для каждого из этих месторождений. Нижняя часть разреза на обоих месторождениях представлена мощной толщей метабазитов (1500 м в Чертомлыкском синклинии, 2000 м — в Сурском синклинии), а верхняя состоит из отложений соленовской свиты, включающей породы железисто-кремнистой формации. Во время этапа тектоно-магматической активизации Среднеприднепровского блока происходило формирование отложений конкской серии, которое сопровождалось внедрением вулканитов (плагиориодацитов) сурского комплекса. Средний изотопный возраст плагиогранитов этого комплекса составляет  $3120 \pm 35$  млн. лет [8]. При этом для сурского комплекса установлены две фазы вулканизма, имеющие следующий изотопный возраст: первая фаза — 3175—3120 млн. лет, вторая — 3055—3035 млн. лет

[9]. В связи с отсутствием определений изотопного возраста пород соленовской свиты нельзя однозначно установить с какой из указанных фаз кислого вулканизма генетически связано сингенетическое золотое оруденение в породах этой свиты.

Предполагается, что геохимический процесс извлечения, переноса и отложения золота происходил следующим образом. Газово-жидкие флюиды кислых вулкани-тов имели восстановительные условия ( $H_2S$ ) и щелочную среду ( $pH = 6-7$ ). Проходя через метабазитовые толщи эти флюиды обогащались  $CO_2$ , имея низкую соленость (менее 4 %  $NaCl$ ), и извлекали золото из мощных метабазитовых толщ, где его содержания составляли 1—5 мг/т [1]. Извлеченное золото поступало во флюиды в виде комплексных соединений. При встрече с породами железисто-кремнистой формации (сульфидная фация, см. рис. 3) происходил распад комплексных соединений золота, находившихся в  $H_2O-CO_2-H_2S$  флюидах по следующим реакциям:



В обоих случаях окисление серы ( $S^{2-}$ ) с образованием пирита ( $S^{1-}$ ) приводило к распаду комплексных соединений золота с осаждением металлического золота. При наличии пирротина также происходило осаждение золота, но процесс шел менее интенсивно:



Реакции протекали в щелочной среде ( $pH = 7-8$ ) в восстановительных условиях при температуре 300—450°C и давлении 80—200 МПа. Вместе с выделением

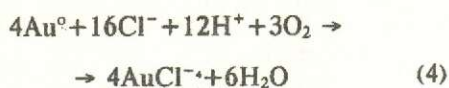
золота происходило осаждение  $Cu$ ,  $Ni$ ,  $Zn$ ,  $Pb$ ,  $As$ ,  $Sb$ ,  $Hg$  и других элементов в виде халькопирита, пирротина, сфалерита, галенита, арсенопирита и других минералов. Свободное золото сорбировалось, преимущественно, на поверхности пирита, а также пирротина, сфалерита, галенита, арсенопирита и других сульфидов в виде механической примеси размером от самых мелких золотинок до 0,25 мкм. Выделены следующие разновидности золота [10]: 1) кристаллическое (отдельные золотины), 2) капельно-кристаллоподобное, 3) пленочное, 4) пленочно-капельное, 5) капельное и 6) дендритовидное. Эти разновидности золота изучены в сингенетических золотоносных зонах.

После стратиграфического перерыва на следующем этапе тектоно-магматической активизации Среднепреднепровского блока сформировались отложения белозерской серии. Затем произошло внедрение гранитов (2800—2600 млн. лет) мокромосковского и токовского комплексов [11]. Газово-жидкие флюиды, сопровождавшие вулканиды (риодациты) этих комплексов, проходя через толщи метабазитов и пород соленовской свиты, содержащей сингенетические золотоносные зоны, образовывали эпигенетические жилы и прожилки преимущественно кварцевого состава, обогащенные золотом. Механизм переноса золота здесь был таким же, как и во флюидах вулканидов сурского комплекса. Если в сингенетических золотоносных зонах содержание золота более или менее устойчивое, однако невысокое — от 0,1—0,2 до 1—2 г/т и редко более, что в эпигенетических золотоносных жилах и прожилках оно весьма высокое, однако очень неравномерное и составляет 1—10 г/т, а в отдельных случаях в гнездообразных скоплениях колеблется от 10 до 500 г/т. Не исключено, что в образовании эпигенетического золотого оруденения принимали участие также наиболее молодые разновидности плагиориодацитов более древнего сурского комплекса.

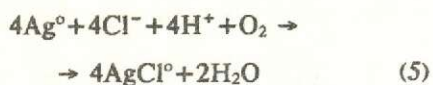
Наличие сингенетического и эпигенетического золотого оруденения подтверждается исследованиями изотопного состава серы сульфидов [10], которыми установлено, что сера относится к трем генетиче-

ским типам: осадочная (формационная «тяжелая»,  $\delta^{34}\text{S}$  от +1,5 до -1,5 ‰), глубинная («коровая»,  $\delta^{34}\text{S}$  от +1,5 до -1,5 ‰) и метасоматическая («легкая»,  $\delta^{34}\text{S}$  до -30 ‰).

На месторождении Балка Широкая ограничено проявлена зона окисления в виде площадной и линейной коры выветривания вдоль лежащего блока рудоносной толщи. Наличие зоны окисления подтверждается более легким изотопным составом кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$  от -2,1 до -3,5 ‰) по сравнению с таковым в породах рудоносной толщи на Северо-Сергеевском месторождении ( $\delta^{17}\text{O}$  от +1,0 до +8,1 ‰). На месторождении Балка Широкая пириты из центральной части рудоносной толщи имеют примесь Ni и Co в соотношении 0,5:1,0, а в лежащем боку этой же толщи — в соотношении 6:1. Известно, что в зоне коры выветривания никель всегда преобладает над кобальтом. Вероятно, в зоне окисления золото перемещалось с поверхностными водами в виде комплексных хлоридных соединений в слабокислой среде в окислительных условиях. Хлориды поступали из вышележащих осадочных пород, которые образовались в условиях аридного и полуаридного климата. Окисление золота кислородом в присутствии хлорид-иона происходит по реакции



Эта реакция требует высокого парциального давления кислорода. При значительно более низкой величине этого параметра происходит растворение серебра или извлечение его из Au—Ag сплава. Это возможно при стабильной концентрации иона  $\text{Fe}^{2+}$ , т.к. окислительный потенциал серебра значительно ниже потенциала пары  $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$  (рис. 4). Растворение серебра в присутствии хлорид-иона происходит по реакции



Выпадение золота из раствора, в котором оно находится в виде комплекса  $\text{AuCl}_4^-$ , может происходить в результате: 1) пониже-

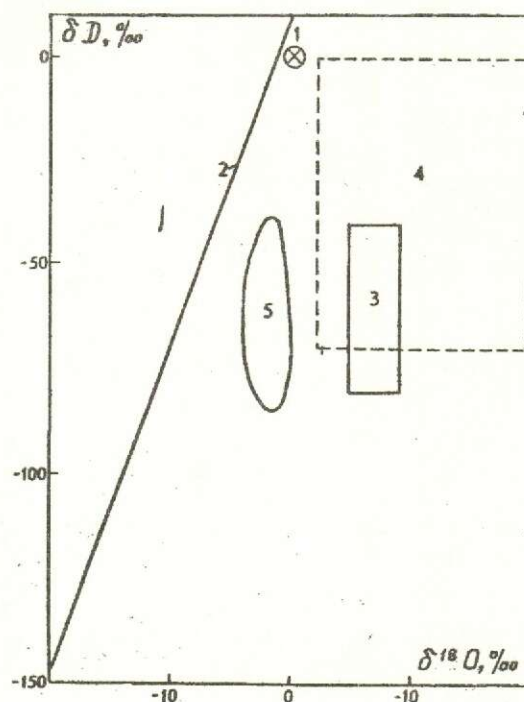
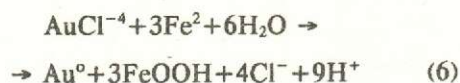


Рис. 4. Eh—pH диаграмма подвижности золота, серебра и железа [13].

ния концентрации иона  $\text{Cl}^-$  (например, при разбавлении), 2) повышения величины pH или 3) уменьшения содержания комплекса  $\text{AuCl}_4^-$ . Реакция осаждения золота при уменьшении концентрации комплекса  $\text{AuCl}_4^-$  при наличии в растворе иона  $\text{Fe}^{2+}$  имеет вид



Реакция предполагает одновременное осаждение золота и гидроксида железа, при этом комплексы хлорида серебра не осаждаются в присутствии иона  $\text{Fe}^{2+}$ , потому что остаточный потенциал для пары Ag—AgCl ниже, чем для пары  $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$  (см. рис. 5). Таким образом, в рудоносной толще комплексные соединения хлорида золота могли распадаться, и присутствие магнетита ускорило этот процесс.

Исследования газовой-жидких включений (ГЖВ) в кварце из золоторудных зон как сингенетического, так и эпигенетического оруденения показывают, что в рудном процессе принимали участие магматиче-

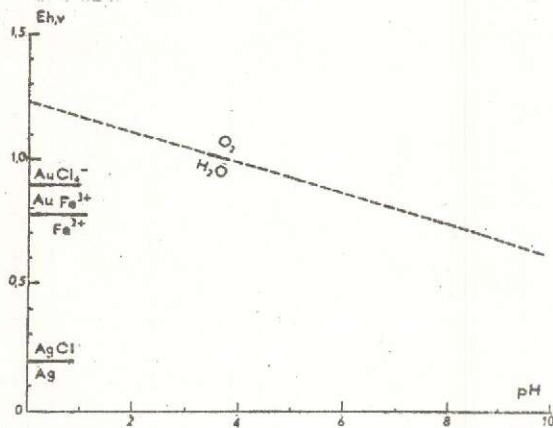


Рис. 5. Изотопный состав и поля воды [11]:

1 — океаническая вода, 2 — линия метеорных вод, 3 — магматическая вода, 4 — метаморфическая вода, 5 — вода золоторудной зоны

ские, метаморфические и метеорные воды [12]. Поле воды золоторудной зоны на месторождении Балка Широкая занимает промежуточное положение между полями перечисленных разновидностей воды (рис. 5). По данным изучения ГЖВ, золоторудный процесс на месторождении Балка Широкая происходил при температуре от 500—400 до 175°C при давлении до 100 МПа, а на Северо-Сергеевском месторождении от 500 до 50°C при давлении от 250 до 50 МПа [10].

Золоторудные месторождения Балка Широкая и Северо-Сергеевское относятся к типу золото-железисто-кремнистой формации и весьма сходны с аналогичными золоторудными месторождениями в зеленокаменных поясах архейских кратонов Западной Австралии — Water Tank Hill, Morning Star, Evening Star, Hill 50, Galtee Moor (the Mount Magnet area), Nevoria (the Southern Cross province of the Yilgarn Block), Южной Африки — Vubachikwe (Зимбабве), Fairview, Sheba (the Barberton Mountain Land), Канады — (Abitibi belt), Бразилии — Morro Velho и др. [13, 14].

Это дает основание для отнесения рассмотренных и других подобных золоторудных объектов Среднего Приднепровья к числу типичных золоторудных формаций докембрийских зеленокаменных структур и высоко оценивать их геолого-промышленный потенциал.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рундквист Д.В., Дагелайский В.Б., Красников Н.Н. Региональные критерии прогнозирования золотого оруденения в зеленокаменных поясах архея // Советская геология. 1989. № 4. С. 28—37.
2. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницкий Е.Н. и др. Возрастные рубежи конкской свиты конкско-верховцевской серии // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1986. № 10. С. 27—30.
3. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницкий Е.Н. и др. Возраст метавулканитов белозерской свиты конкско-верховцевской серии Украинского щита // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1986. № 8. С. 26—29.
4. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницкий Е.Н. и др. Возраст вулканизма и осадконакопления нижнебелозерской подсвиты // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1986. № 6. С. 24—28.
5. Петько В.Н., Корниенко А.И., Кириянов И.И. и др. Новые данные о геологическом строении и рудоносности Чертомлыкской зеленокаменной структуры Среднего Приднепровья // Геологический журнал. 1994. № 3. С. 76—84.
6. Бордунов Н.И. Метабазитовые и кератофировые алюмосиликатные формации Базавлукского синклинория (Сурский район) // Метабазитовые и кератофировые алюмосиликатные формации центральной части Украинского щита. Киев. 1982.
7. Фомин Ю.А., Коржнев М.Н. Генетические особенности золотоколчеданных руд Сурской структуры (Украинский щит) по данным изучения изотопного состава серы // Докл. АН Украины. Сер. мат., естеств., техн. науки. 1993. № 12. С. 121—126.
8. Щербак Н.П. Стратиграфическая схема докембрия Украинского щита и ее корреляция с общесоюзной и международной шкалой докембрия // Геологический журнал. 1991. № 4. С. 3—9.
9. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницкий Е.Н. и др. Верхнеконкская вулcano-плутоническая ассоциация Среднего Приднепровья // Докл. АН Украины. Сер. мат., естеств., техн. науки. 1995. № 2. С. 93—96.
10. Коваль В.Б., Лапуста В.Ф., Терещенко С.И. и др. Геохимические и металлогенетические особенности формирования золотого оруденения Приднепровья Украины // Геологический журнал. 1994. № 3. С. 55—64.
11. Орса В.И. Гранитообразование в докембрии Среднеприднепровской гранит-зеленокаменной области. — Киев, Наукова Думка, 1988.
12. Шибельский Ю.О., Лапуста В.Ф., Деміхов Ю.М. Изотопно-геохимичне вивчення рудопроаяу Балки Широка // Доп. НАН України. Сер. мат., природ., техн. науки. 1993. № 4. С. 112—116.
13. Phillips C.N., Groves D.I., Martyn G.E. An epigenetic origin for Archean banded iron-formation-hosted gold deposits // Economic Geology. 1984. V. 79. № 1. P. 162—171.
14. Mann A.W. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observation from Western Australia // Economic Geology. 1984. V. 79. № 1. P. 38—49.



L. S. Galetsky, S. M. Dobrokhotov

**GOLD ORE MINERALIZATION IN THE MIDDLE PRIDNEPROVYE (THE UKRAINIAN SHIELD)**

*Within the area of the Middle Pridneprovye (the Ukrainian Shield), the Balka Shirokaya and Severo-Sergeevskoye gold deposits are hosted in Archean greenstone structures. The deposits belong to the gold-iron-siliceous formation. The syngenetic gold ore mineralization is present in iron-siliceous formation; it is hosted in rocks of Solenovskaya suite (upper strata of Konskaya series) and genetically related to plagiorthodacites of Aursky complex ( $3120 \pm 35$  Ma). The epigenetic gold ore mineralization is associated with rhyodacites of Mokromoskovsky and Tokovsky complexes (2800—2600 Ma).*

УДК 553.41/48.06 (575.15)

© В. М. Чекалин, 1996

**ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗМЕИНОГОРСКОГО КОЛЧЕДАНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ)**

**В. М. ЧЕКАЛИН (АО «Рудно-Алтайская экспедиция»)**

*Приводится вулканическая модель образования Змеиногорского месторождения. Считается, что первичные (сульфидные) руды — доскладчатые. Среди них различаются: гидротермально-метасоматические, гидротермальные и гидротермально-осадочные. Вторичные (окисленные) руды и золоторудные россыпи связываются со складчато-, горообразовательными и денудационными процессами.*

Змеиногорское месторождение, находящееся в Алтайском крае, известно со времен бронзового века. Вторичное его открытие по следам древних рудокопов было сделано, по одним сведениям, Я.Костылевым в 1725 г., по другим — Ф.Лелесновым в 1736 г. Вскоре оно стало основным крупным объектом горно-заводской промышленности на Алтае и до начала XIX века являлось всемирно известным полигоном, на котором оттачивалась научная и инженерная мысль многих геологов, горных инженеров, гидротехников, механиков и других специалистов России и Европы. Достаточно сказать, что после первых сведений С.Г.Гмелина в 1771 г. о Змеиногорском месторождении опубликовано более 180 различных работ, из которых около трети — в зарубежных изданиях. В 1829 году месторождение посетил великий немецкий натуралист Александр Гумбольдт.

На месторождении вслед за С.Г.Гмелиным побывали и внесли заметный вклад в изучение его строения, минералогии, происхождения, в разработку методики поисков и разведки, подсчет запасов, определение перспектив и организацию горно-заводского процесса: П.С.Паллас, И.П.Фальк, И.М.Ренованц, П.Шангин, К.Д. и П.К.Фроловы, А.Соколовский, А.Кулибин, Г.Гельмерсен, А.И.Узатис, А.Бояршинов, М.П.Айдаров, Б.Ф.Котта, Г.Щуровский, Г.Н.Майер, П.П.Пилипенко, В.К.Котульский, И.Ф.Григорьев, Д.А. и Б.А.Тимофеевские, Н.Н.Курек, Б.И.Вейц, М.Ф.Вьюнов, Ф.Д.Стахович, А.М.Мытникова, А.А.Гармаш и многие другие.

Эксплуатационные и разведочные работы на месторождении осуществлялись с некоторыми перерывами до 60-х годов настоящего столетия. В 1903—1932 гг. на эти работы привлекались иностранные концессии. К на-

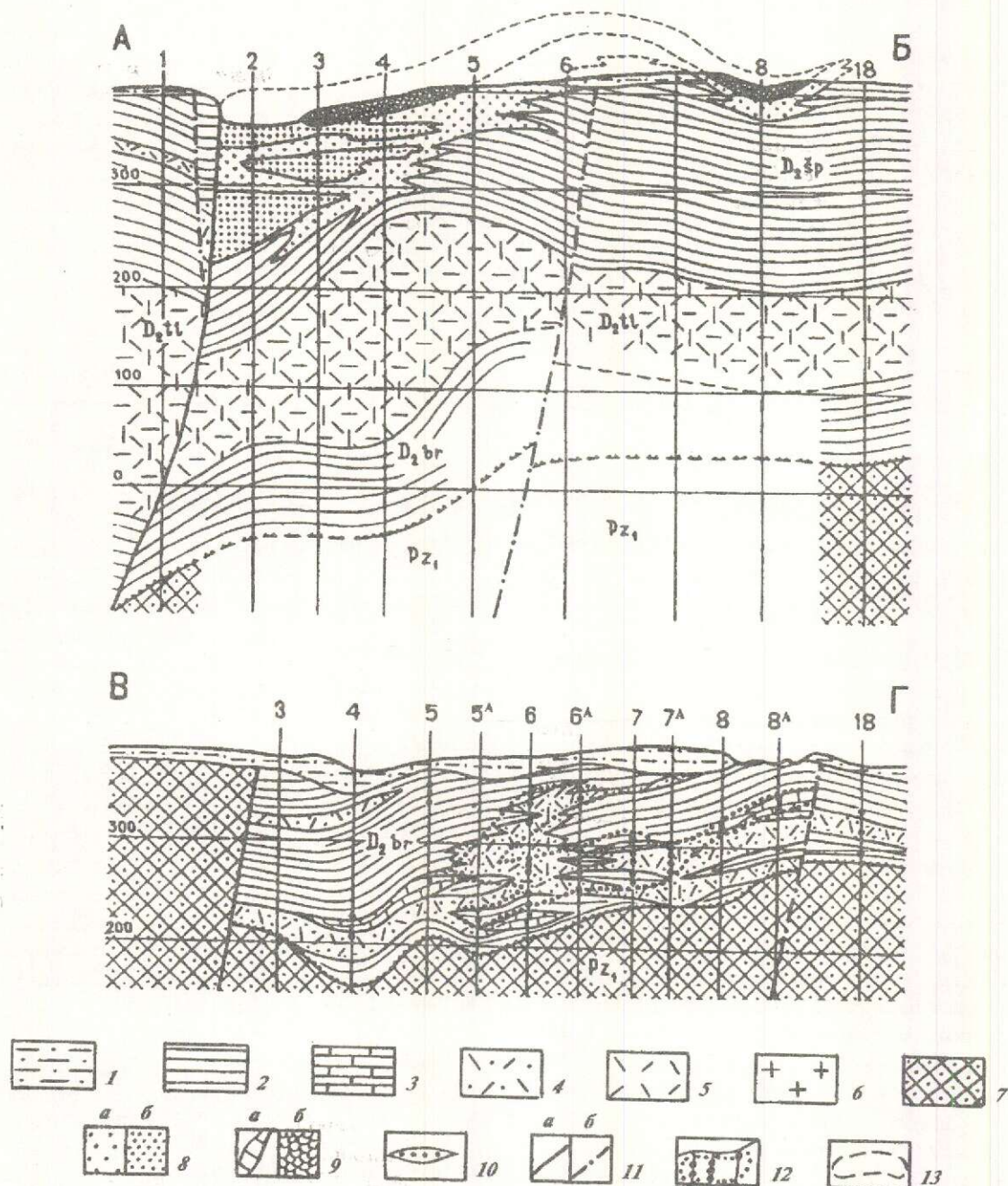


Рис. 1. Продольные геологические разрезы Змеиногорского месторождения по линиям А—Б и В—Г:

1 — рыхлые песчано-глинистые отложения; 2 — алевриты, алевропелиты; 3 — известняки; 4 — туфы кислого состава; 5 — лавы и лавобрекчии кислого состава; б — липаритовые и липарито-дацитовые порфиры; 7 — метаморфические сланцы; 8 — гидротермально-осадочные золотоносные кварциты: а — с пониженным, б — с повышенным содержанием сульфидной минерализации (золото-полиметаллические руды); 9 — руды: а — баритовые, б — золото-серебро-барит-полиметаллические; 10 — золоторудные россыпи; 11 — границы залегания стратифицированных толщ: а — согласного, б — несогласного; 12 — место пересечения скважиной полиметаллического оруденения и его контур нижней (промышленной) подзоны; 13 — предполагаемый контур эродированных оруденелых кварцитов и золото-серебро-барит-полиметаллических руд

стоящему времени месторождение вскрыто карьерами (разносами) до второго горизонта, подземными горными выработками на десяти горизонтах до полного его выклинивания на глубине 210 м и достаточно детально разведано многочисленными скважинами. В результате накоплен огромный фактический материал, разрозненный по архивам, фондам, публикациям, посвященным отдельным вопросам строения месторождения. Автор данной статьи после изучения основной части этих материалов и личных наблюдений в карьерах и естественных обнажениях пород делает попытку систематизировать их, представить в краткой форме полную картину строения месторождения и рассмотреть с позиций «эффузивной» гипотезы его генезис.

**Геологический разрез и структура месторождения.** В региональном структурном плане Змеиногорское месторождение приурочено к северо-восточному крылу Алейского антиклинория, сложенного палеозойскими вулканогенно-осадочными породами.

Геологический разрез начинается с интенсивно дислоцированных зелено-серых кварц-эпидот-хлорит-серицитовых метаморфических нижнепалеозойских сланцев, слагающих ядро Алейского антиклинория. Выше с угловым и стратиграфическим несогласием залегают породы березовской, таловской и шипуновской свит среднего девона (рис. 1).

Березовская свита ( $D_2br$ ) сложена глинистыми, известково- и кремнисто-глинистыми алевролитами и алевропелитами, туфами риолитовых и риолито-дацитовых порфиров резко меняющейся (20—100 м) мощности. Отмечаются линзы известняков и песчаников. В основании иногда встречаются базальные когеломераты. Мощность свиты 65—160 м.

Таловская свита ( $D_2tl$ ) мощностью 75—210 м, характеризуется исключительно лавами, лавобрекчиями и туфами кислого состава.

Шипуновская свита ( $D_2sp$ ) представлена алевропелитами и аргиллитами с редкими прослоями известняков и туфов кислого состава. Непосредственно на участке месторождения развиты гидротермально-осадочные кварциты, описанные А.А.Гармашом [5] как первично-осадочные образования. До этого они считались «роговокаменным порфиром», роговиками.

Стратифицированные породы на восточном фланге месторождения прорваны неболь-

шой субвулканической интрузией риолитовых порфиров средне-верхнедевонского возраста. В пределах рудной зоны откартирован пучок из трех прямолинейных даек диабазовых порфиритов, расходящихся веером от Главного разлома в северо-восточном и восточном направлениях и падающих на юг и юго-восток под углом 60—70°. Дайки встречены подземными горными выработками на втором горизонте и западнее Главного разлома. Мощность каждой дайки на всем их протяжении, как правило, не испытывает сколько-нибудь заметных колебаний. Для даек, имеющих северо-восточную ориентировку, она измеряется первыми десятками сантиметров. Мощность субширотной дайки равна 2,8 м.

Палеозойские образования перекрыты коричневыми глинами, описанными М.Ф.Розеном (1952) и отнесенными И.С.Чумаковым [15] к павлодарской свите верхнего неогена, желтовато-коричневыми суглинками ( $N_2-Q_{III}$ ) и современными элювиально-делювиальными отложениями (щебень, дресва, супесь). Мощность рыхлых отложений равна 0—30 м.

Структура месторождения представляет собой моноклираль северо-западного простирания, с падением на северо-восток под углом в среднем 40—50°, осложненную дополнительной более мелкой продольной и поперечной складчатостью. Особую роль на месторождении играет Главный разлом, ориентированный в север-северо-западном направлении с крутым (70—90°) падением на запад-северо-запад. Этот разлом ограничивает изученную часть месторождения с запада. По нему контактируют неизмененные вулканогенно-осадочные породы его висячего бока и рудная зона — лежащего. Сам по себе Главный разлом изучен хорошо. Однако по поводу его возраста относительно оруденения у исследователей нет единого мнения. Одни [5, 6] считают его дорудным, другие [1] — пострудным. Это приводит к неоднозначной оценке перспектив месторождения. При дорудном его формировании разлом, вероятнее всего, препятствовал распространению через его непроницаемую зону рассланцевания гидротермальных рудоносных растворов с востока на запад. Его пострудный характер дает полное основание считать, что часть рудной зоны им срезана и ее продолжение следует искать в

западном блоке месторождения. Руководствуясь этой идеей, которая подтверждалась находкой в шве Главного разлома валунов роговиков и руд, М.П.Айдаров в 60-е годы прошлого столетия подземными горными выработками провел поиск предполагаемого западного продолжения рудной зоны, считая, что западный блок относительно восточного опущен и смещен на север. Однако эти работы не привели к положительным результатам. Не обнаружено здесь промышленное оруденение и в процессе бурения скважин в 40—50-х годах двадцатого столетия (Ф.И.Вьюнов, Ф.Д.Стахович, А.М.Мытникова).

Имеющиеся на месторождении другие более мелкие разнонаправленные разрывные нарушения со смещением и без смещения, проявляющиеся в рассланцевании и дроблении пород, в большинстве своем не вызывают существенных осложнений структуры месторождения.

Строение, состав и зональность рудной зоны. Эндогенную рудную зону месторождения можно разделить на три подзоны, залегающие на разных стратиграфических уровнях. Нижняя и средняя подзоны представлены полиметаллическими рудами, верхняя (снизу вверх): полиметаллическими, золото-полиметаллическими, золото-серебро-барит-полиметаллическими и баритовыми. Нижняя и верхняя подзоны характеризуются промышленными запасами руд, средняя — непромышленными. На месторождении развита и экзогенная рудная зона в виде двух известных с 1935 г. россыпей золота.

Минералогия месторождения изучалась на протяжении более чем двухвекового периода его освоения. При этом ни один исследователь не имел возможности изучения всех рудных зон одновременно. Так, Фальк, Ренованц, Герман, Шангин, Розе и др. в XVIII—XIX вв. могли наблюдать руды только верхней рудной подзоны в естественном залегании на глубину до полного выклинивания (210 м). Все последующие исследователи до второй половины 50-х годов настоящего столетия имели дело исключительно с золото-полиметаллическими рудами в кварцитах, вскрытых карьерами, и баритовыми рудами в отвалах. Отработанные в прошлые века золото-серебро-барит-полиметаллические и баритовые руды в естественном залегании больше никто не встречал.

П.П.Пилипенко [10] после анализа архивного материала и собственной работы на месторождении описал более 75 минералов и систематизировал их по зонам первичных (колчеданных) и вторичных (окисленных) руд. Учитывая это, Д.А.Тимофеевский в 1937 г. подчеркнул, что по количеству установленных на месторождении минералов оно занимает одно из первых мест в мире. В 50-е годы изучение его минералогии было продолжено Б.И.Вейц, И.В.Покровской, И.С.Волынским, В.В. и М.С.Бессмертными, А.А.Гармашом. Некоторые из них пополнили список новыми минералами, не обнаружив в то же время ранее известных, связанных с давно отработанными рудами зоны окисления и сульфидными рудами глубоких горизонтов. Только А.М.Мытникова и А.А.Гармаш, наряду с изучением в карьере оруденения в кварцитах, ознакомились с полиметаллическими рудами нижней и средней рудных подзон.

По составу руд Змеиногорское месторождение является типичным представителем месторождений рудноалтайского типа, отличаюсь от большинства из них лишь повышенным содержанием золота, серебра и барита. Первичные руды всех подзон качественно имеют практически одинаковый минеральный состав. Отличие состоит лишь в количественных соотношениях его отдельных форм, что приводит к ярко выраженному зональному строению всей рудной зоны.

Вещественный состав руд находится в прямой зависимости от их минерального состава и характеризуется большим разнообразием основных, редких и рассеянных химических элементов. Главными из них являются: цинк, свинец, медь, серебро, золото. По содержанию меди, свинца, цинка полиметаллические и золото-полиметаллические руды относятся к бедным (табл. 1). Исключение составляют золото-серебро-барит-полиметаллические разности, в которых содержание этих металлов было достаточно высоким.

В полиметаллических (медно-свинцово-цинковых) рудах наблюдается уменьшение содержания меди относительно свинца и цинка и увеличение содержания цинка относительно свинца от нижней подзоны к верхней. В этом же направлении отмечается также увеличение концентраций золота и серебра.

Нижняя рудная подзона связана с участком неравномерно гидротермально изме-

1. Среднее содержание основных рудных элементов (по архивным данным) и их соотношения в первичных рудах месторождения

Подзоны, руды	Возраст (свита)	Cu, %	Pb, %	Zn, %	Au, г/т	Ag, г/т	Pb/Cu	Zn/Cu	Zn/Pb
Верхняя Баритовые Золото-серебро-барит- полиметаллические Золото-полиметалличе- ские Полиметаллические	D <sub>2st</sub>	1,20	5,50	8,30	5,30	435	4,7	6,9	1,5
		0,17	0,85	1,64	2,10	31,5	5,0	9,6	1,9
		0,18	1,37	2,37			7,6	13,2	1,7
Средняя Полиметаллические	D <sub>2tl</sub>	0,16	1,20	1,87	0,10	22,4	7,5	11,6	1,5
Нижняя Полиметаллические	D <sub>2br</sub>	0,32	1,52	2,04	0,10	8,4	4,7	6,4	1,3

ненных вулканогенно-осадочных пород безрезовской свиты, охватывая 90 % мощности последней, и залегает в интервале глубин 30—220 м от дневной поверхности (рис. 2, 3). Ее размеры по простиранию, падению и мощности составляют 500, 50—250 и 20—150 м, соответственно. Морфологически эта подзона представляет собой штокверк неправильной формы. Оруденение полиметаллическое прожилковое и прожилково-вкрапленное, неравномерно зернистое.

*Средняя рудная подзона* приурочена преимущественно к верхней части гидротермально измененных пород таловской свиты, имеет вытянутую уплощенную форму, прослеженную по простиранию до 500 м, при мощности и ширине в плане до 30—50 и 50—100 м, соответственно. Оруденение в ней также полиметаллическое прожилковое и вкрапленное, разрозненное и не увязывающееся в рудные тела.

*Верхняя рудная подзона* из всех других подзон месторождения имеет наиболее сложное строение и включает наибольшее количество компонентов с промышленными запасами. Эта подзона известна с глубокой древности и активно осваивалась с первой половины XVIII века до наших дней. Она локализована среди преимущественно осадочных пород нижней-средней части шипуновской свиты. Для нее характерно четкое зональное строение по мощности. По простиранию подзона первоначально прослеживалась на расстояние не менее 800—850 м, при ширине 300—400 м. Максимальная мощность ее равнялась примерно 150 м. Сейчас сохранились две части

этой некогда единой подзоны в виде рудной залежи Большого разноса и Комисской залежи (см. рис. 1, 2). Более полной по своему строению является залежь Большого разноса, краткое описание которой приводится ниже.

Рассматриваемая подзона начинается с бедного (см. табл. 1) разрозненного непромышленного прожилково-вкрапленного полиметаллического оруденения в слабо гидротермально измененных алевропелитах нижней части шипуновской свиты.

Выше залегают золото-полиметаллические руды исключительно прожилкового типа, связанные с гидротермально-осадочными кварцитами. Последние прослежены по простиранию в северо-западном направлении на расстояние 390 м. По падению на северо-восток они, имея максимальную истинную мощность 130 м, постепенно выклиниваются через 300 м. Изменение их размеров с глубиной показано в табл. 2. Основную ценность этим рудам придает золото, на которое впервые обратил внимание И.П.Фальк в 1771 году. Позднее оно отмечалось и другими исследователями, однако серьезно эти кварциты стали оцениваться на золото после 1903 г. австрийскими концессионерами, которые отработывали отдельные участки с содержанием золота до 20—40 г/т до второго горизонта. С глубиной содержание золота несколько уменьшается. В 30-е годы к изучению и добыче золота приступили отечественные научные и производственные организации. С целью изучения его распространения опробованию подверглись кварциты, из которых, по данным

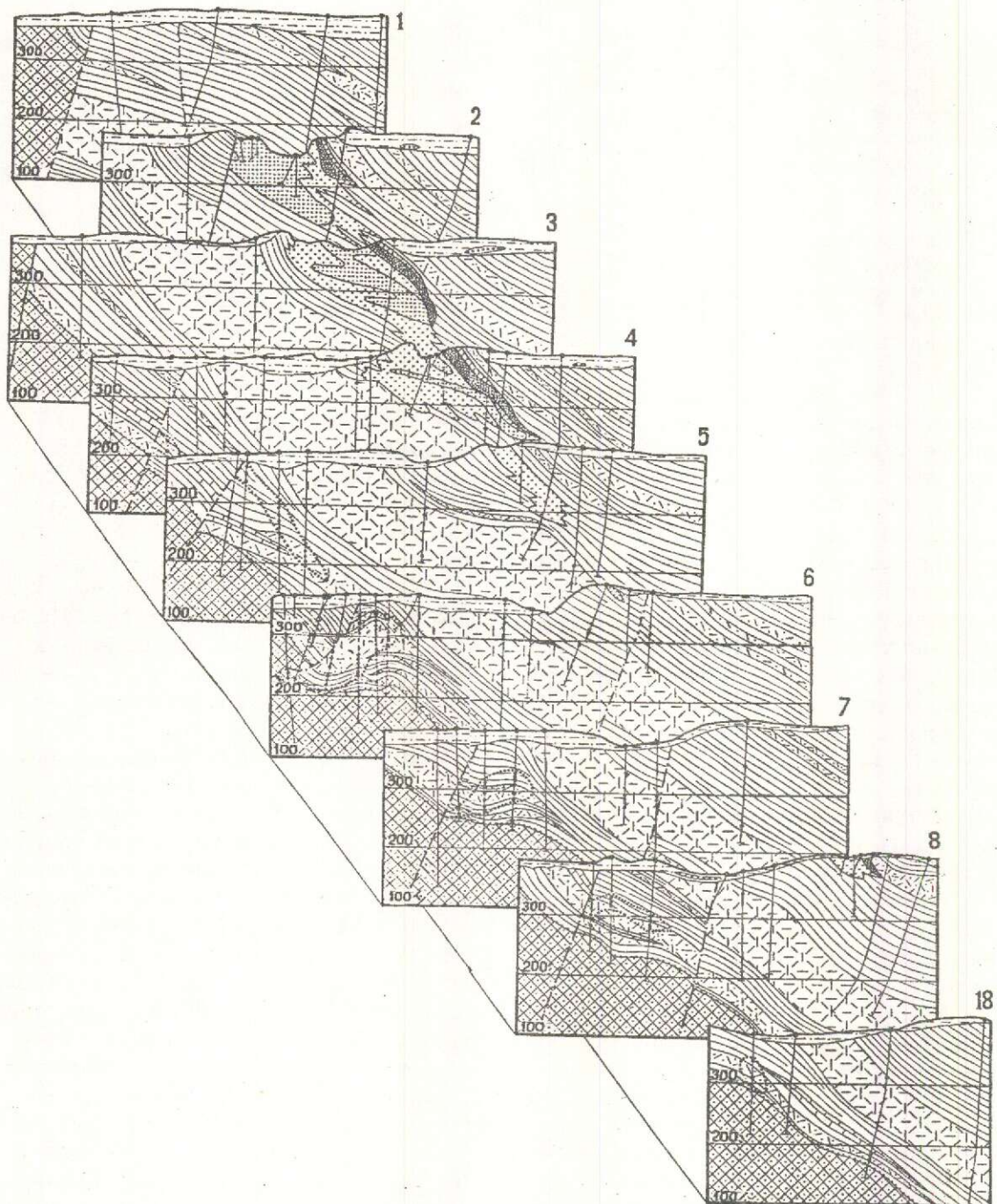


Рис. 2. Блок-диаграмма (профильная проекция) Змеиногорского месторождения (составлена по материалам А.М.Мытниковой и М.Ф.Вьюнова):

Усл. обозн. см. рис. 1

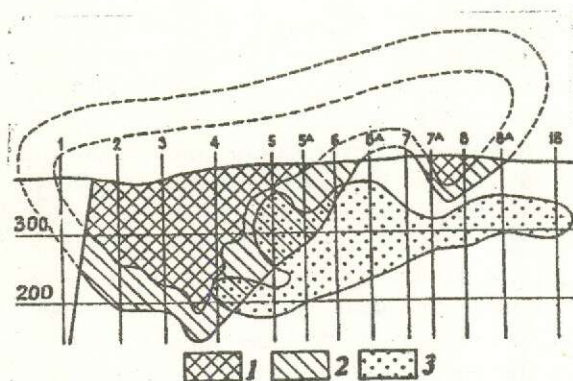


Рис. 3. Продольная проекция на вертикальную плоскость руд Змеиногорского месторождения:

руды: 1 — золото-серебро-барит-полиметаллические, 2 — золото-полиметаллические — в кварцитах верхней подзоны; 3 — полиметаллические руды нижней подзоны

Б.А.Тимофеевского (1939), отобрано 1503 пробы, а также пробы из кварцевых (67), баритовых (27) и сульфидных (41) прожилков. Анализ результатов этих проб показывает, что наиболее высокое содержание золота связано с кварцевыми и менее — с

баритовыми прожилками (табл. 3). Содержание его в сульфидных прожилках практически равно содержанию в кварцитах, где носителем золота являются в основном не сульфиды меди, свинца, цинка и железа, а кварц, распределенный по многочисленным микротрещинам. Это подтверждается еще и весьма низкой корреляционной связью золота с медью, свинцом, цинком и серебром (коэффициенты корреляции 0,155—0,235). Всего из верхней части залежи австрийскими и английскими концессионерами в 1903—1932 гг. было добыто более 10 т золота и более 3,5 т — Змеиногорским рудником в 1935—1951 гг. (М.Ф.Розен, 1952). На том же руднике в оставшейся части залежи Большого разноса среднее содержание золота — 2, серебра — 29 г/т (М.И.Денисов, 1972). Эти же показатели в Комисской залежи равны 4 и 72 г/т, соответственно. В залежи Большого разноса имеются определенные запасы легкообогащаемых небогатых (см. табл. 1) полиметаллических руд, которые могут быть успешно извлечены с золотом и серебром.

2. Размеры рудной залежи Большого разноса, м (по архивным данным)

Горизонт	Абсолютные отметки, м	Оруденелые кварциты		Au-Ag-BaSO <sub>4</sub> -полиметаллические руды	
		Длина	Ширина	Длина	Ширина
0	380	390	160	—	—
I	357	340	152	222	15—60
II	337	335	150	220	30—60
III	297	260	20	225	8—35
IV	280	240	125	145	0—28
V	256	160	2	140	0—27
VI	247	130	5	130	1—33
VII	228	200	75	100	70
VIII	208	70	5	125	0—29
IX	197	60	10	25	15
X	178	20	5	—	—

3. Содержание золота в кварцитах и прожилках разного состава до 2-го горизонта

Породы	Всего проб	Класс содержания, г/т			Среднее содержание, г/т	Пробность золота, ‰
		0—3	3—10	>10		
Кварциты	1503	731	617	155	4,36	
Прожилки:						
кварцевые	67	12	20	35	25	640
баритовые	27	9	11	7	7,3	635
сульфидные	41	22	16	3	4,5	575

Золото-серебро-барит-полиметаллические руды, лежащие на золотополиметаллических в кварцитах, невозможно сейчас охарактеризовать достоверно по всем показателям, особенно с количественной стороны в связи с их полной отработкой и отсутствием полноценных архивных материалов. Минеральный состав их представлен пиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, баритом, марказитом, смешанными блеклыми рудами, самородными золотом и серебром и др. Согласно контуру выработанного пространства (см. табл. 2, см. рис.2), их истинная мощность колебалась от 0 до 15—20 м, а общие запасы в целике не превышали 2,5—3,5 млн. т. Из них, как свидетельствуют архивные данные, добыто около 2 млн. тонн сортированных руд. В их сульфидных и окисленных разностях содержание меди равно, соответственно, 2 и 0,6, свинца — 10 и 1,0, цинка — 12,4 и 1,8 %, золота — 8,6 и 35 и серебра — 700—800 г/т [6]. Из руд извлечено 1282 т золотистого серебра. Исходя из этих величин, примерное среднее содержание в сульфидных рудах в естественном залегании могло составлять меди — 1,2, свинца — 5,5, цинка — 8,3 %, золота — 5,3 и серебра — 350—500 г/т. Паллас, посетивший рудник в период отработки этих руд (1771 г.), отметил содержание серебра в них до 780—1040 и даже до 5204 г/т. Для сравнения уместно отметить, что в геологических запасах аналогичных руд отрабатываемого Зареченского месторождения, находящегося в 4 км от Змеиногорского, содержание меди равно 1,1, свинца — 3,3 и цинка — 4,1 %, золота — 10,6 и серебра — 520 г/т. Имеются сведения (1851 г.), что в фунте змеиногорского серебра содержится до 2—3 золотников золота (1,9—2,8 %). Несколько раньше Г.Щуровский [16] указывал на еще более высокое содержание золота в серебре — 3—3,5 %. При этом общее количество золота в добытом серебре могло достигать 35—45 т. Выплавлено же его в Санкт-Петербурге, по одним сведениям [10], более 36 т, по другим (Н.Н.Курек, 1938) — 23,9 т. В описываемых рудах золото связано не с жильным кварцем, как в подстилающих кварцитах, а с сульфидами. Это убедительно показал А.А.Гармаш [5] в своей диссертации. Им подробно описано самородное золото, связанное с галенитовой парагенетической ассоциацией. Он впервые выделил и изучил самосто-

ятельную гипогенную (борнит-серебряную) стадию, наложенную на полиметаллические руды и представленную борнитом, энаргитом, халькозином, штрмейеритом, аргентитом, сульфанитом, самородными серебром и золотом и сопровождающими теннантитом, сфалеритом, галенитом, пиритом, халькопиритом, а также кварцем и баритом. Прожилки минералов этой стадии практически не проникают в подстилающие кварциты. Таким образом, эта стадия является основным носителем благородных металлов в золото-серебро-барит-полиметаллических рудах.

Первичные руды верхней подзоны, выходящие на дневную поверхность, подверглись до глубины 40—45 м окислительному процессу с образованием в них вторичной рудной зональности. Среди окисленных руд по П.П.Пилипенко [10] выделяются (снизу вверх): зона вторичного сульфидного обогащения, где кроме первичных минералов развиты халькозин, аргентит, самородные медь, золото, серебро и др.; зона сажистых (аргентит, ковеллин, куприт, медь, серебро, золото, ярозит, халькантит и др.) и окристых (малахит, азурит, лимонит, манганит, пиролюзит, смитсонит, церуссит, тенорит, сурик и др.) руд.

Баритовые руды венчают верхнюю рудную подзону. В верхней (по мощности) части они сложены преимущественно стерильным баритом. Средний химический состав такого барита:  $\text{BaSO}_4$  — 92,45—99,22,  $\text{SiO}_2$  — 0,31—4,55,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 0,15—3,37,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0,05—0,36 % (Д.А.Тимофеевский, 1937). Ниже заметную долю в барите составляет гнездовая полиметаллическая минерализация. С баритом связано и самородное золото до 3—5 г/т, на что указывал, например, Влангали еще в 1851 г. Об этом же свидетельствует тот факт, что только в 1937—1941 гг. путем мокрого обогащения баритового шлиха, в районе дробильной фабрики было получено 349 кг чистого золота (М.Ф.Розен, 1952).

Комисская залежь имеет аналогичное строение, но меньшую сохранность золото-серебро-барит-полиметаллических руд. Ее размеры по простиранию, падению и мощности составляют, соответственно, 75, 50—55 и 50 м. На глубине 40 м она полностью выклинивается.

Золоторудные россыпи представляют



собой составную часть рассматриваемого месторождения, как производные разрушающихся при горообразовательных и денудационных процессах его сульфидных и окисленных золотосодержащих руд.

Одна из россыпей, по М.Ф.Розену (1952), находится у северного подножия сопки Батарейной, в 100—150 м к северу от выхода на дневную поверхность рудной залежи Большого разноса. Она приурочена к четырехметровому слою суглинка и глины со щебнем и галькой барита. Слой подстилается глинистыми алеволитами и песчаниками среднего девона и погребен под толщей глины, суглинка и песка мощностью 26,5 м. Средняя мощность продуктивной части разреза составляет около 2 м. Россыпь имеет небольшие размеры и низкое содержание золота (0,19—0,38 г/м<sup>3</sup>). Поэтому она не представляет практической ценности.

Вторая россыпь находится у южного подножия этой же сопки, преимущественно на левом берегу р.Змеевки, и удалена от Комисской залежи на расстояние около 150 м. Средняя мощность ее — 1,8 м. Россыпь погребена под толщей желтовато-коричневых суглинков мощностью более 10 м. К настоящему времени она полностью отработана. Среднее содержание золота в ней составляло 0,64 г/м<sup>3</sup>. Из нее добыто 360 кг тонкого золота 610-ой пробы, три крупных самородка весом по 47,2, 165,7 и 651,7 г каждый, имеющих пробу 600, 653 и 648, соответственно.

Генетическая модель Змеиногорское месторождение на Рудном Алтае по длительности изучения не имеет себе равных. Тем не менее его происхождение оставалось дискуссионным. Может быть, частично это связано с тем, что оно никогда не рассматривалось комплексно. Все вопросы по генезису месторождения можно подчинить двум бытующим гипотезам: «интрузивной» и «эффузивной». Большинство исследователей, за редким исключением, предпочтение отдавали первой из них. При этом одни [10] источник рудного вещества видели в гранитных интрузиях Змеиногорского комплекса, другие — в его кислых дериватах — кварцевых порфирах, третьи — в посткалбинских малых интрузиях, образовавшихся в мезозое. Исследователи прошлого века [9, 12, 16] образование месторождения связывали с порфиоровыми интрузиями вообще. Более конкретным в этом отношении

был Г.Бояршинов [3, с. 389], который считал оруденение месторождения сингенетичным с широко развитым «роговокаменным порфиром», полагая, что «с этой роговокаменной массой образовалось висячем боку ее и Змеиногорское месторождение». В более ранней работе он говорит, что диабазовые порфиры, «появившиеся позже роговокаменного порфира, ... пересекают в виде жил здешние рудные месторождения» [2, с. 11]. По А.А.Гармашу, оруденение наложено на складчатые и разрывные структуры, по времени и пространственно тесно связано с самыми молодыми интрузивными породами в районе — дайками диабазовых порфиритов, являющимися самостоятельными магматическими образованиями, не имеющими ничего общего с формированием известных гранитных интрузий. Эти дайки пересекают пермо-триасовые порфиroidные Калбинские граниты. Следовательно, если продолжить его мысль, оруденение Змеиногорского месторождения образовалось в мезозое.

Первые скромные высказывания представителей эффузивной гипотезы [4] о метаморфизме полиметаллических руд и доскладчатом происхождении месторождения «забывались» активными ортодоксами от интрузивной концепции.

На основании анализа всех основных материалов по описываемому месторождению и сопоставления с данными по другим комплексно изученным близко расположенным (4—5 км) месторождениям, таким, как Среднее, Зареченское, Корбалихинское и др. [8, 13, 14, 7], автор статьи склонен считать его первичное оруденение продуктом девонского вулканизма. При этом, как один из вариантов, предлагается следующая модель формирования Змеиногорского месторождения.

В позднем эйфеле район месторождения, погружаясь, стал формироваться как часть островной дуги с рядом функционирующих вулканов центрального типа, изливавших лавы и выбрасывавших пирокластический материал преимущественно кислого состава. В начале их деятельность проявлялась пульсационно, т.е. сопровождалась неоднократными периодами ее прекращения, когда между вулканическими аппаратами происходило накопление терригенных осадков и перемыв вулканических продуктов. Так образовалась березовская свита. В раннем живете новая

непрерывная активность вулканов привела к накоплению вулканитов исключительно кислого состава таловской свиты. После этого наступило длительное затишье вулканических извержений. Произошло накопление мощной толщи преимущественно терригенных тонкообломочных осадков шипуновской свиты и гидротермально-осадочных кварцитов. В последующем некоторая структурная перестройка участка со «встряиванием», что характерно для активных вулканических областей, привела к образованию густой сети трещин и микротрещин во всей массе кварцитов и подстилающих пород. Трещинообразованию в этих породах способствовало еще и их близповерхностное положение. Создалась благоприятная структурная обстановка для циркуляции гидротермальных рудоносных растворов. Раствор, зародившийся на глубине, начал движение вверх сначала по относительно узкому каналу, а затем, попав в эту пронизанную трещинами структуру, заполнив все трещины и сбросив свой полезный груз, образовывал в вулканогенно-осадочных породах березовской, таловской и шипуновской свит прожилково-вкрапленные полиметаллические руды нижней, средней и верхней рудных подзон, а затем прожилковые золото-полиметаллические руды в кварцитах верхней подзоны. Этот же раствор, выйдя на дно водного бассейна, в условиях высокого кислородного потенциала формировал гидротермально-осадочным способом пластовую залежь сплошных и вкрапленных золото-серебро-барит-полиметаллических и баритовых руд. Гидротермальный процесс осуществлялся в один этап, но в несколько стадий — кварцево-хлорит-серицитовую, барит-полиметаллическую, борнит-серебряную с баритом и золото-кварцевую.

Зональное строение рудной зоны обусловлено меняющимся режимом и геолого-геохимическими условиями рудоотложения. Последнее связано, например, с изменением кислородного потенциала на пути движения рудоносных гидротермальных растворов.

Дальнейшее становление месторождения происходило под воздействием тектонических и экзогенных сил. При герцинском складкообразовании его рудная зона была наклонена по падению на северо-восток и разделена Главным разломом на западную и восточную части. Западная часть сдвинута на север и

вброшена. Позднее произошло внедрение даек диабазовых порфиритов, которые пересекают рудную зону и, по данным А.А.Гармаша [5], Главный разлом. В мезозое-кайнозойское месторождение в результате горообразовательных процессов оказалось на денудационном уровне, что привело к полному разрушению и сносу западной и, частично, восточной части верхней рудной подзоны. К востоку от Главного разлома после этого сохранились две нижние части (залежь Большого разноса и Комисская залежь) некогда единой залежи верхней подзоны. В них развилась до глубины 40—45 м классическая зона окисления. Наконец, в результате денудации верхней части верхней рудной подзоны, связанной с завершающей стадией горообразования на Алтае, происходившей, по мнению И.А.Резанова [11] на рубеже плиоцена-плейстоцена, образовались две золоторудные россыпи у северного и южного подножий Батарейной сопки, вершина которой находится между Большим и Комисским разносами.

Анализ разнообразного материала по месторождению позволяет сделать два главных вывода:

1. Первичные (сульфидные) руды являются доскладчатым продуктом девонского вулканизма. Они образовались в едином восстающем потоке гидротермальных рудоносных растворов гидротермально-метасоматическим способом в слабо трещиноватых проницаемых вулканогенно-осадочных породах (прожилково-вкрапленные и вкрапленные полиметаллические руды), гидротермальным — в интенсивно трещиноватых кварцитах (прожилковые золото-полиметаллические) и гидротермально-осадочным — на дне водного бассейна (сплошные и вкрапленные золото-серебро-барит-полиметаллические руды). Эта модель, может быть, и далека от совершенства, но она может объяснить существующую асимметричную классическую первичную зональность строения рудной зоны, обусловленную не только минеральным и вещественным составом руд, но и их текстурным рисунком, который, как правило, несет достоверную генетическую информацию. На Змеиногорском месторождении мы имеем дело с моноклинально падающим крылом, где создается весьма напряженная зона, закрытая для циркуляции каких-либо растворов, а следовательно, и

метасоматических процессов. Кроме того, месторождение в части первичного оруденения не выпадает из ряда рудноалтайских месторождений, генетическая связь которых с девонским вулканизмом давно и убедительно доказана.

Последующие преобразования, в результате которых возникли зонально построенные вторичные (окисленные) полиметаллические руды и золоторудные россыпи, обязаны складко-, горообразовательным и денудационным процессам. Предложенная модель формирования месторождения может быть уточнена при получении новых фактических материалов.

2. Перспективы месторождения на открытие новых рудных тел на флангах и глубине исчерпаны. Западная часть рудной зоны (за разломом) денудирована. Определенную экономическую ценность имеют полиметаллические руды нижней подзоны и золото-полиметаллические — верхней. Они могут быть отработаны только одновременно с эксплуатацией соседних Зареченского и Корбалихинского месторождений, когда на последние будет отнесена основная часть затрат, связанная со строительством и содержанием обогатительного, дорожно-транспортного, водозаборного и энергетического комплексов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдаров М.П. Докладная записка в Горный совет Алтайских заводов // Горный журнал. 1868. С. 305—351.
2. Бояришинов А. Геогностическое описание средней части долины речки Корбалихи и Черепановского рудника // Горный журнал. 1845. Ч. 1. Кн. 1. С. 1—30.
3. Бояришинов А. Геогностическое описание долины речки Корбалихи от пруда Змеевского завода до

речки Хорьковки и горы Березовой // Горный журнал. 1846. Ч. 2. Кн. 6. С. 372—415.

4. Вейц Б.И. Минералогия Рудного Алтая. — Алма-Ата: Изд. АН Каз.ССР, Алма-Ата, 1959. Т. 3.
5. Гармаш А.А. Особенности структуры Змеиногорского месторождения на Алтае / Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений. — М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 566—581.
6. Григорьев И.Ф., Глебов С.М. Полиметаллические месторождения Рудного Алтая. Большой Алтай. — Л.: Изд. АН СССР, 1934.
7. Кузнецов А.Г., Злотник-Хоткевич А.Г., Чекалин В.М. Особенности формирования рудовмещающих фаций и обломочных руд Корбалихинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Литология и полезные ископаемые. 1994. № 2. С. 86—101.
8. Крейтер И.В., Кузнецов В.В., Пугачева И.П. и др. Геология и условия формирования Корбалихинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Геология рудных месторождений. 1982. № 5. С. 37—46.
9. Кулибин А. Описание Кольвановоскресенских заводов по 1833 год // Горный журнал. 1836. Ч. 2. Кн. 4. С. 318—335.
10. Пилипенко П.П. Минералогия Западного Алтая. — Томск. 1915.
11. Резанов И.А. Образование гор. — М.: Наука, 1977.
12. Узатис А.И. Геогностические очерки Змеиногорского края // Горный журнал. 1839. Ч. 3. Кн. 9. С. 309—346.
13. Чекалин В.М. Геолого-генетическая модель Корбалихинского месторождения полиметаллических и колчеданных руд на Рудном Алтае // Геология и геофизика. 1985. № 8. С. 78—91.
14. Чекалин В.М., Королев Г.Г. Геолого-генетическая модель Среднего и Зареченского месторождений полиметаллических и барит-полиметаллических руд на Рудном Алтае / Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. — Новосибирск: Наука, 1988. С. 89—98.
15. Чумаков И.С. Кайнозой Рудного Алтая. — М.: Наука, 1965.
16. Щуровский Г. Геологическое путешествие по Алтаю. — М., 1846.

V. M. Chekalin

A GEOLOGICAL-GENETIC MODEL OF THE ZMEINOGORSKOYE MASSIVE SULFIDE DEPOSIT (RUDNY ALTAI)

*A "volcanic" model representing the formation of the Zmeinogorskoye deposit is set forth. Primary (sulfide) ores are deemed to be post-folding. Among them, there are hydrothermal-metasomatic, hydrothermal and hydrothermal-sedimentary ones. Secondary (oxidized) ores and gold ore placers are assigned to folding, orogenic and denudation processes.*

# КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



УДК 622.7.017

© Н. Г. Клименко, А. З. Ахмедов, 1996

## ПУТИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОКИСЛЕННЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

Н. Г. КЛИМЕНКО, А. З. АХМЕДОВ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Изучен вещественный состав и формы нахождения свинцовых минералов в окисленных свинцово-серебряных и частично окисленных полиметаллических рудах. Для комплексной переработки окисленных свинцово-серебряных руд предлагается пироталационная, а для частично окисленных полиметаллических — флотационно-пиро-гидрометаллургическая схемы, основанные на переводе многообразных минеральных форм свинца в сульфид (галенит) для первых руд и в сульфат — для вторых.*

Резервом для увеличения запасов свинецосодержащих руд является вовлечение в переработку труднообогатимых окисленных или частично окисленных руд. Эти руды в настоящее время полностью не перерабатываются, а многие из них, из-за отсутствия промышленной технологии их переработки, даже не учтены в общем запасе металлов по стране. Руды зоны окисления разрабатываемых сульфидных месторождений часто складываются в отвалах, а если и поступают в переработку, то резко снижают показатели обогащения первичных руд. Сульфидизация руд сернистым натрием или серой обеспечивает лишь некоторую активацию церуссита и англесита.

Сложная физико-химическая обстановка в условиях образования зоны окисления месторождений сульфидных руд неизбежно приводит к большому разнообразию появляющихся при этом минералов, их высокой дисперсности и тесной взаимосвязи ценных минералов с вмещающей породой.

В данной работе исследовались пять проб руд двух месторождений. Три пробы (1, 2, 3) представлены окисленными свинцово-серебряными рудами и две (4, 5) — частично окисленными полиметаллическими рудами. Минералогический анализ показал, что пробы 1, 2, 3 почти не содержат сульфидов и характерны для самых верхних, близких к дневной поверхности, сильно окисленных зон колчеданных месторожде-

ний. Руды 4 и 5, наряду с окисленными минералами, содержат сульфиды и являются характерными для частично окисленных зон, представляющих переходные зоны от окисленных к сульфидным рудам.

Минеральный состав исследуемых окисленных руд чрезвычайно сложен и может быть расшифрован только с использованием химического, рационального, термического и рентгеноструктурного методов анализа. Сочетание различных методов позволило количественно оценить разнообразие существующих форм нахождения минеральных разновидностей свинца (табл. 1) [1].

Содержания серебра в этих рудах — 60—150 г/т. С помощью фазового анализа установлено, что в пробе 1 оно лишь на 60 % связано с легкодоступными формами типа кераргерита, аргентита, а также с простыми окисленными минералами свинца. Остальное серебро связано с трудноизвлекаемыми формами — ярозитом и плюмбоязрозитом. В пробах 2 и 3 серебро на 90 % связано с легкоизвлекаемыми формами, причем 60 % представлено кераргеритом. Пробы, представляющие частично-окисленные полиметаллические руды содержали свинца — 0,8—2,4, меди — 0,7—2,5, цинка — 3,0—4,0 %. Минеральные формы цветных металлов показаны в табл. 2.

Представленные в таблице 2 данные показывают, что исследуемые пробы руды отличаются как степенью окисленности, так и

## 1. Минеральные формы свинца в окисленных рудах

Минеральные формы	Pb, %		
	проба 1	проба 2	проба 3
Англезит	15,3	23,1	35,3
Церуссит и свободные окислы*	22,5	3,9	4,0
Ожелезненный англезит, окислы и ланаркит	28,0	16,9	12,1
Крокоит и вульфенит	1,7	не обнаружен	1,5
Плюмбоярозит и бедантит	29,3	56,1	46,3
Галенит	3,2	не обнаружен	0,8
<i>Свинец в руде</i>	5,37	3,08	12,05

\* Окислы в пробе 1 представлены массивкотом, а в пробах 2, 3 — литаргитом.

## 2. Минеральные формы свинца, меди и цинка в частично окисленных рудах

Металл	Минеральные формы	%	
		проба 4	проба 5
Свинец	Англезит	37,8	25,6
	Церуссит и линарит	4,3	14,3
	Ожелезненные англезит, линарит и ланаркит	10,3	не обнаружен
	Плюмбоярозит	21,4	7,8
	Галенит	26,2	52,3
	<i>Свинец в руде</i>	2,38	0,8
Медь	Брошантит	0,8	23,3
	Малахит, азурит, куприт	11,5	23,3
	Ковеллин, борнит	9,9	32,0
	Халькопирит	77,8	21,4
	<i>Медь в руде</i>	0,68	2,5
Цинк	Госларит	11,6	39,3
	Цинкит, гидроцинкит	21,2	17,8
	Сфалерит	67,2	42,9
	<i>Цинк в руде</i>	3,95	3,0

содержанием основных компонентов. Наличие большого разнообразия минеральных форм создаст трудности в выборе растворителя для гидрометаллургических процессов переработки руд и тем более в выборе собирателя для флотации.

Для столь сложных руд необходимо перед их переработкой применить методы, позволяющие привести все эти различия к одной легкофлотируемой или легкорастворимой форме. Наиболее легкофлотируемый минерал свинца — галенит, а легкорастворимая форма свинца — сульфат. Перевести окисленные минералы в сульфид возможно обжигом окисленной руды с пиритом без доступа воздуха [3]. Это было использовано для окисленных свинцово-серебряных руд.

Для частично окисленных полиметаллических руд целесообразнее использовать окислительно-сульфатизирующий обжиг, позволяющий перевести в сульфаты свинец, медь и цинк. Использование пирита в качестве сульфидизатора для получения галенита в окисленных свинцовых рудах оправдано наличием  $FeS_2$  в колчеданных рудах нижних горизонтов. Чтобы выяснить механизм процесса сульфидизации окисленных минеральных форм свинца и серебра, следует иметь в виду, что нагревание пирита без доступа воздуха приводит к диссоциации минерала с выделением серы и сернистого железа.

Выполненные нами термодинамические расчеты показали, что наиболее вероятным

процессом сульфидизации сульфата свинца является гетерогенная реакция англезита с серой, в то время как сульфидизация окислов свинца наиболее вероятна в твердофазном процессе с сернистым железом. Оптимальной температурой, как установлено, является 780—800°C, время обжига — 30 мин при расходе пиритного концентрата 15—17 % к весу руды. Эти же условия являются оптимальными для сульфидизации серебра. При этом в условиях диссоциации аргентоюзита наиболее вероятна сульфидизация серебра элементарной серой — продуктом диссоциации пирита. Последующая флотация вновь образованного галенита и серебряных минералов проводилась в содовой среде с бутиловым ксантагенатом и вспенивателем по схеме, включающей основную, две контрольных флотации и три перечистки пенного продукта.

Разработанные приемы обжига и флотации позволили получить по данной технологии в замкнутом цикле обогащения свинцово-серебряный концентрат с содержанием 41—49 % свинца и 1070—1420 г/т серебра при извлечении из руд, %: проба 1 — 84,4 свинца и 89,7 серебра, проба 2 — 75,3 и 72,95 соответственно.

Наиболее растворимая минеральная форма свинца — сульфат. Поэтому растворителем для англезита служит подкисленный раствор хлористого натрия или натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты [2].

Для оптимизации условий окислительно-сульфатизирующего обжига экспериментально проверены изменения кристаллической структуры отдельных минералов в интервале температур 300—900°C.

Степень перехода плюмбюзита, бедантита, церуссита, ланаркита, линарита, массикота в сульфат свинца определялась методами химического, рационального и рентгеноструктурного анализов.

На основании проведенных экспериментальных исследований окислительно-сульфатизирующего обжига окисленных свинцовых минералов в зависимости от температуры возможен следующий химизм процесса: до 350°C — свинцовые минералы не претерпевают сколько-нибудь заметных превращений;

в интервале 350—700°C — происходит

разложение минералов и процесс их сульфатизации; ярозиты свинца и других металлов разлагаются особенно интенсивно в интервале 350—450°C с образованием сульфатов свинца и железа, окислов железа, серного ангидрида и сернистого газа; в процессе разложения серный ангидрид вступает в гетерогенное взаимодействие с карбонатом свинца, а сернистый газ и кислород — окислами и основным сульфатом (ланаркитом) свинца, сульфатизируя их; далее, до 700°C образованный средний сульфат свинца не претерпевает каких-либо изменений;

в интервале 700—850°C происходит полиморфное превращение среднего сульфата свинца до основного и окислов свинца; в интервале 800—900°C окислы свинца взаимодействуют с окислами железа и начинают образовываться труднорастворимые ферриты свинца.

Наиболее благоприятным интервалом температур сульфатизации различных форм свинца является 500—650°C, когда образуется основное количество среднего сульфата свинца и не образуются ферриты и окислы.

Сульфат серебра появляется при этих же температурах за счет диссоциации аргентоюзита и сульфатизации кераргерита. Исследования показали, что ярозиты, входящие в состав окисленных руд колчеданно-полиметаллических месторождений, являются хорошими сульфатизаторами окисленных соединений полезных компонентов при соответствующих режимах обжига руд.

Если содержание ярозитов мало, то следует вводить сульфатизатор дополнительно. В качестве такового может служить сульфат натрия или железа.

Максимальная степень сульфатизации медных минералов в частично окисленных рудах происходит при температуре 550°C, а цинковых — при 650°C, причем эта температура является граничной для перевода сульфата меди в окислы. Поэтому выбранный интервал температур сульфатизации свинца (500—650°C) является оптимальным для медных и цинковых компонентов. Полученный огарок выщелачивается в подкисленном растворе хлористого натрия.

Свинец выделяется в два этапа: сначала в виде хлорида свинца и затем из фильтрата сернистым натрием в виде сульфида свинца и серебра. Суммарное извлечение составля-

ет, % : свинца — 96—96,8, а серебра в сульфид — 92—93,7. После удаления свинца и серебра, медь и золото осаждаются цементацией с извлечением 90—95 % металла, а из фильтрата осаждаются цинк при извлечении 91—94 %. Из частично окисленных руд желательно предварительно извлечь сульфиды флотацией, а обжигу подвергать только хвосты флотации.

Таким образом, с использованием современных методов исследований установлен сложный вещественный состав окисленных свинцово-серебряных и полуокисленных полиметаллических руд. Количественно определены разнообразные минеральные формы свинца.

На основе термодинамических расчетов и экспериментально на чистых мономинеральных фракциях показаны наиболее вероятные интервалы температур и химизм процессов, протекающих при сульфидизирующем и сульфатизирующем обжиге различных окисленных минеральных форм свинца и серебра.

Установлена необходимость использования термической обработки для получения из многочисленных небогатых свинцовых и серебряных минералов либо легкостворимой формы (сульфатов), либо легкофлотируемой формы (галенита). Выявлена возможность использования ярозитов в ка-

честве сульфатизаторов при окислительно-сульфатизирующем обжиге.

Для переработки окисленных свинцово-серебряных руд предлагается сульфидизирующий обжиг с пиритом без доступа воздуха с последующей флотацией образующегося галенита. Для частично окисленных полиметаллических руд установлена эффективность применения окислительно-сульфатизирующего обжига с последующей гидрометаллургической обработкой огарка. Оба метода обеспечивают высокое (до 90 %) извлечение цветных металлов из практически небогатых руд.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедов А.З., Филиппова А.П., Калашичкова Т.М. Определение форм нахождения свинца в рудах зоны окисления колчеданно-полиметаллических месторождений //Тр. ЦНИГРИ, - М. 1976 г. Вып. 125.
2. Ахмедов А.З., Клименко Н.Г. и др. Новые методы переработки руд верхних горизонтов колчеданно-полиметаллических месторождений //Научно-технический реферативный сборник. Серия X. Лабораторные и технологические исследования и методы обогащения минерального сырья. - М.: ВИЭМС. 1977. Вып. 9—11.
3. Ахмедов А.З., Клименко Н.Г. Пирофлотационный способ переработки труднобогатых окисленных свинцово-серебряных руд //Тр. ЦНИГРИ, 1978.

N. G. Klimenko, A. Z. Akhmedov

#### WAYS TO IMPROVE THE UTILIZATION OF OXIDIZED COMPLEX ORES

*Substantial composition and forms of presence of lead minerals in oxidized lead-silver ores and partially oxidized ones are studied. To provide for all-round treatment of oxidized lead-silver ores, we propose a pyroflotation procedure, and for partially oxidized ones — a flotation-pyro-hydrometallurgical process; the procedures are based on the transformation of multiple mineral forms of lead into a sulfide (galenite) for the first type of ores and into a sulphate for the second one.*

УДК 669.2/8.013.8:628.511

© Коллектив авторов, 1996

## ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ (ЖМО) МИРОВОГО ОКЕАНА

А. И. РОМАНЧУК, М. М. ЗАДОРНОВ, В. П. ИВАНОВСКАЯ, Т. Н. МАТЕВИЧ,  
А. Б. КОРОЛЕВ (ЦНИГРИ Роскомнедра)

*Обсуждаются основные направления и способы комплексного использования железомарганцевых образований Мирового океана для получения цветных металлов и решения природоохранных задач.*

Истощение запасов традиционных полезных ископаемых стимулирует работы по поиску новых нетрадиционных источников минерального сырья в Мировом океане, в частности, последние 15—20 лет ведутся активные работы по изучению глубоководных железомарганцевых образований.

ЖМО представляют собой океанические донные минеральные ассоциации гидроксидов железа и марганца, образовавшиеся в ходе седиментационных и диагенетических процессов на границе раздела вода—осадок (коренные породы) и являющиеся ценным сырьем для получения никеля, кобальта, меди, марганца и ряда других металлов (таблица). По генезису и морфологическим признакам выделяются три основные фации ЖМО: конкреции (ЖМК), кобальтомарганцевые корки (КМК) и корковые конкреционные образования (ККО) [1].

ЖМК представлены сферо-, диско- и эллипсоидальными образованиями размером 5—100 мм, залегающими на поверхности дна океана. Основные ресурсы ЖМК сосредоточены в абиссальных котловинах Тихого и Индийского океанов на глубине 4000—6000 м.

КМК, толщиной от первых миллиметров до 240 мм, покрывают выходы коренных пород в пределах подводных горных сооружений и возвышенностей в интервале глубин 800—4600 м. Основные ресурсы КМК сосредоточены в северной приэкваториальной зоне Тихого океана.

ККО — образования переходные между КМК и ЖМК. Они представляют собой ядро (обломки коренных пород), покрытое рудной оболочкой размером от 10 см до 1,5 м. Крупных самостоятельных полей ККО не

образуют, чаще встречаются совместно с КМК и ЖМК и промышленного значения не имеют.

Рудная составляющая ЖМО сложена слабоокристаллизованными гидроксидными минералами марганца и железа, находящимися в тонких сростаниях. В состав нерудной составляющей входят кварц, полевошпат, слюда, оливин, пироксен, амфиболы, глинистые минералы, цеолиты, апатит, кальцит, шпинели [7].

В ЖМК минералы марганца представлены десятиангстремными марганцевыми минералами, вернадитом, бернесситом, гидрогаусманитом, браунитом, причем первые два присутствуют в значительных количествах. Из минералов железа отмечаются акатенит, лепидокрокит, гематит, маггемит, ферроксигит, магнетит.

КМК и ККО имеют более монолитный состав и сложены в основном вернадитом и гидроксидами железа. Из нерудных минералов присутствуют кварц, плагиоклаз, филлипсит, гидроксиллапатит.

Основными полезными компонентами ЖМО являются медь, никель, кобальт, марганец; к попутным можно отнести молибден, платину, редкоземельные элементы.

В связи с тем, что цветные металлы не образуют самостоятельных минералов и присутствуют в ЖМО в виде изоморфных примесей (халькопирит, ковеллин, интерметаллические соединения типа NiFe, AuCu, PtS обнаружены лишь в небольших количествах), обогащение ЖМО механическими методами не эффективно.

Для переработки глубоководного сырья требуется применение комбинированных технологических схем, которые по характе-



Химический состав ЖМО (по данным ЦНИГРИ)

Элементы, соединения	Содержание	ЖМК, зоны Кларин- Клиппертон (Тихий океан)	ЖМК, район Магеллановых гор (Тихий океан)
Cu		1,05	0,12
Ni		1,20	0,44
Co		0,22	0,64
Mn		29,7	22,3
Fe		5,7	16,6
Zn		0,14	0,06
Mo		0,06	0,04
Pb		0,04	0,15
SiO <sub>2</sub>	%	14,10	9,00
TiO <sub>2</sub>		0,48	1,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4,50	5,30
MgO		4,05	2,40
CaO		4,58	5,40
Na <sub>2</sub> O		2,88	2,10
K <sub>2</sub> O		1,29	0,70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,4	1,5
Собщ.		0,10	0,30
Au		0,01	0,06
Ag		н/а	2,07
Pt		0,19	0,40
Nd		248	125
Sm		32,5	36
Eu		7,6	14
Ce	г/т	311	890
Yb		11	29
La		126	310
Th		25	13
As		60	280
Sb		49	40

ру основных (головных) операций можно разделить на три группы:

пирометаллургические, основанные на селективном восстановлении и отделении цветных металлов от марганца и пустой породы;

гидрометаллургические с селективным выщелачиванием цветных металлов;

гидрометаллургические с выщелачиванием марганца и цветных металлов.

Наряду с использованием в металлургии в качестве минерального сырья для получения ряда металлов, ЖМО могут использоваться в других областях, в частности, для решения природоохранных задач. Последнее обуславливается уникальными физико-химическими свойствами ЖМО, прежде всего высокой пористостью (до 60 %), раз-

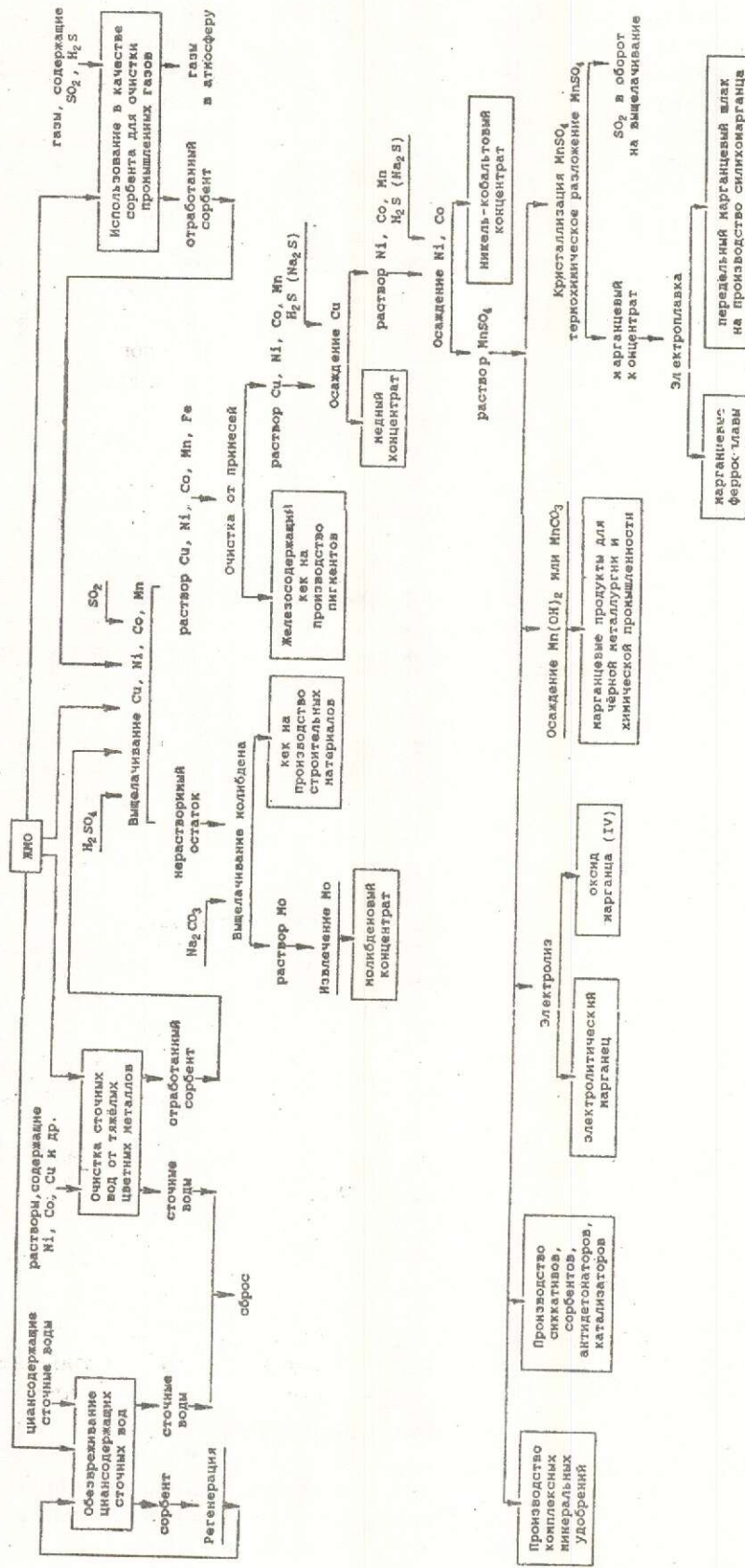
витой поверхностью пор (до 200 м<sup>2</sup>/г) и присутствием гидроксидов марганца, кальция, магния, железа, являющихся эффективными сорбентами по отношению к SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, катионам цветных металлов и катализаторами окислительных процессов. Наиболее перспективно использование ЖМО для очистки от вредных составляющих отходящих газов и сточных вод.

В ЦНИГРИ разработана технология очистки газов с утилизацией сернистого ангидрида для сульфатизации цветных металлов и марганца [3]. Технология основана на сорбции сернистого ангидрида из газов на поверхности частиц ЖМО и его окислении двуокисью марганца с образованием растворимых сульфатов. Сульфатные растворы могут быть переработаны по технологии, предложенной для извлечения полезных компонентов из растворов сернистоокислотного выщелачивания ЖМО (рисунок).

Существенным преимуществом использования ЖМО для очистки газов является возможность осуществления процесса сухим способом при высоких температурах, что позволяет исключить необходимость охлаждения отходящих газов перед выбросом в атмосферу. Степень сульфатизации полезных компонентов при сухой очистке газов от сернистого ангидрида ниже, чем при использовании пульпы (50 % против 93—95 %), однако ПДК по содержанию SO<sub>2</sub> в отходящих газах достигается.

Канадскими исследователями установлено, что ЖМО эффективно сорбируют сероводород в интервале температур 500—900°C, т. е. при температурах коксования, газификации и горения топлива [7]. Сорбционная емкость ЖМО по отношению к сероводороду составила 0,19—0,25 г H<sub>2</sub>S на 1 г ЖМО. Сорбционная емкость модифицированных ЖМО увеличивается до 32 г H<sub>2</sub>S на 1 г ЖМО.

Для очистки отходящих газов от окислов азота наиболее часто применяется аммиачно-каталитический способ с использованием искусственных ванадиевых катализаторов. Преимуществом ЖМО по сравнению с традиционными катализаторами является то, что они в естественном состоянии содержат комплекс элементов, оказывающих каталитическое воздействие на процесс окисления



Принципиальная схема комплексного использования железомарганцевых образований Мирового океана.

(Ni, Co, Ti, Pb, Pt), причем в наиболее благоприятном для катализа состоянии.

В ФРГ предложено использовать ЖМО для приготовления катализаторов окисления оксидов азота, углерода и серы в отходящих газах [2]. ЖМО могут использоваться непосредственно или в качестве покрытий на обычных основах катализаторов.

В одинаковых условиях при температурах 250—300°C при пропускании через слой сорбента продуктов сжигания природного газа, содержащих  $\text{NH}_3$  и  $\text{NO}$  в соотношении 1,0—1,1; концентрация  $\text{NO}_x$  снизилась на 50 % при использовании ЖМК и на 70 % при использовании КМК. Для сравнения, катализатор на основе окиси железа при температуре 400°C (оптимальной для этого типа катализатора) обеспечивает снижение содержания  $\text{NO}_x$  на 50 %.

Каталитическая активность ЖМО при обезвреживании окислов азота примерно такая же, как у других типов промышленных катализаторов, однако преимуществом ЖМО является возможность использования их в широком диапазоне температур.

Еще одно направление, использующее сорбционные свойства ЖМО, — это обезвреживание сточных вод предприятий химического, металлургического, машиностроительного и приборостроительного профиля от ионов тяжелых цветных металлов, цианидов и других токсичных соединений.

Исследованиями ЦНИГРИ установлена способность ЖМО сорбировать и окислять цианиды. Так, при контактировании растворов с ЖМК в течение 6 часов концентрация в них цианида снижается с 200 мг/л до 3—4 мг/л [5]. Регенерация ЖМК с полным восстановлением сорбционных свойств осуществляется путем обработки слабыми растворами кислот.

Исследования по очистке сточных вод гальванических цехов с использованием ЖМК проведены в ИМГРЭ [6]. Полученные результаты свидетельствуют о эффективной сорбции цветных металлов исходными ЖМО в интервале pH 5,0—9,5; причем селективность ЖМО возрастает в ряду:  $\text{Cu} \ll \text{Pb} < \text{Co} < \text{Ni}$ . Применение ЖМО для очистки нейтральных и щелочных сточных вод позволяет снизить концентрацию тяжелых цветных металлов до ПДК. Наиболее перспективно использование конкреций и

корок для очистки сточных вод, содержащих ионы меди, никеля и кобальта. В этом случае, наряду с решением задачи снижения концентрации ионов тяжелых металлов до ПДК, достигается увеличение содержания в ЖМО полезных компонентов, которые в дальнейшем могут быть извлечены в процессе металлургической переработки насыщенного сорбента.

На рисунке приведена принципиальная схема комплексного использования ЖМО для получения цветных металлов, марганца и решения природоохранных задач.

Базовая технологическая схема переработки ЖМО включает операции: выщелачивание полезных компонентов из ЖМО сернистым ангидридом в растворах серной кислоты, очистка растворов от примесей, селективное осаждение концентратов меди и никеля-кобальта, получение марганцевых продуктов для различных отраслей промышленности.

По этой же технологии с соответствующей корректировкой отдельных технологических параметров могут быть переработаны сульфатизированные ЖМО после использования для очистки газов от сернистого ангидрида. При применении метода мокрой очистки операция выщелачивания исключается, т.к. растворение полезных компонентов происходит в процессе контактирования газов с пульпой ЖМО. В случае использования «сухого» метода время выщелачивания и расход сернистого ангидрида снижаются, т.к. на выщелачивание поступают частично сульфатизированные ЖМО.

Аналогичным образом перерабатываются образования, обогащенные цветными металлами в процессе очистки растворов.

Особенностью предложенной схемы использования ЖМО является ее универсальность при комплексной переработке сырья и получении растворов сульфата марганца для нужд химической и топливной промышленности, производстве минеральных удобрений, в металлургии и других отраслях хозяйства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев С.И. Металлогения железомарганцевых образований Мирового океана. — СПб.: Недра, 1994.

2. Заявка ФРГ N 3634553. Заявлено 10.10.86. Опубл. 21.04.88. Инд. В01Д.
3. Романчук А.И., Ивановская В.П., Матевич Т.Н. и др. Очистка газов от сернистого ангидрида марганецсодержащими природными сорбентами // Руды и металлы. 1995. № 4. С. 100—106.
4. Романчук А.И., Матевич Т.Н., Ивановская В.П. и др. Обезвреживание цианосодержащих стоков природными сорбентами-катализаторами // Руды и металлы. 1996. № 1. С. 81—83.
5. Успенская Т.Ю., Скорнякова Н.С. Текстуры и структуры железомарганцевых конкреций и корок. — М.: Наука, 1991.
6. Челищев Н.Ф., Новиков Г.В. Сорбционные свойства океанических железомарганцевых конкреций и корок // Металлогения современных и древних океанов. — М., 1991. С. 205—20.
7. Furinski Edward, Yumura Motoo Способ очистки горячей газовой смеси от сероводорода. Патент Канады 1230466, заявлен 02.04.85, опубл. 22.12.87, В01Д 53/02.

A. I. Romanchuk, M. M. Zadornov, V. P. Ivanovskaya, T. N. Matevich, A. B. Korolev

#### FEASIBLE LEADS FOR ALL-ROUND UTILIZATION OF OCEANIC Fe-Mn-NODULES AND CRUSTS

*Main concepts and techniques intended for all-round utilization of ferromanganesian species occurring in the World Ocean for the purposes of base metals production and environmental control are discussed.*

УДК 622.7.097:622.342

© Коллектив авторов, 1996

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ХВОСТОВ РУД ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ И ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНО-ГАЛЕЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

А. Н. ШЕЛЕХОВ, В. В. БЕДИМ, М. Н. СЫЧЕВА, В. А. ЛЮЧКИН, Н. Г. ВЛАСОВА, В. Н. ЧУГУНКИН (АО ТГЗК)

*Показана эффективность гравитационного и флотационного способов обогащения на попутное извлечение золота из отвальных хвостов железоизвлекательных фабрик и с помощью сепаратора СЦВ-6 — песчано-гравийно-галечных карьеров.*

В 1995 г. нами осуществлена технологическая оценка отвальных хвостов Михайловского ГОКа по добыче и переработке железистых кварцитов и Хромцовского ГОКа по добыче и переработке моренных песчано-гравийно-галечных образований.

Михайловский ГОК работает по пятистадиальной схеме мокрой магнитной сепарации. Его конечная продукция — металлизированные окатыши, а общие отвальные хвосты крупностью 40 мкм представляют собой силикатную часть кварцитов (кварц, амфиболы, слюды, карбонаты), в незначительном количестве — пирит, а также немагнитные оксиды железа, преимущественно гематит (свыше 30 %).

Проба отвальных хвостов собиралась в ОТК ГОКа в течение 10 месяцев, с августа 1993 г. по июнь 1994 г., и ее представительность достаточно высокая. Масса пробы, использованная для технологических исследований, равна 200 кг.

По данным пробирно-спектрального анализа содержание золота в исследуемой пробе составило 0,3—0,35 г/т. Золото в пробе преимущественно свободное — мелкое (до 50 мкм) и тонкое (менее 50 мкм).

Испытаны гравитационный и флотационный способы обогащения. Обогащение хвостов по схеме: предварительное грохочение класса + 0,5 мм, гидроциклонирование и гравитация

на концентрационном столе обеспечивает получение существенно гематитового концентрата с содержанием золота 7—14 г/т, в зависимости от его выхода. Извлечение металла в концентрат составляет 35—40 %. Цианирование гравитационного концентрата позволяет извлечь золото на 92—94 % (от операции), а попутно получаемый обеззолоченный железо-оксидный продукт после обезвреживания цианидов может быть использован по прямому назначению как металлургическое сырье в доменном производстве. Флотация свободного мелкого и тонкого золота также эффективна. Флотационный концентрат содержит 35 г/т золота, при извлечении его в концентрат свыше 50 %. Потери золота с хвостами флотации составляют 0,1 г/т. Испытана также виброцентробежная сепарация, обеспечивающая получение товарного железооксидного концентрата.

Таким образом, показано, что отвальные хвосты железоизвлекающих фабрик могут быть использованы в качестве нового нетрадиционного источника для организации попутной золотодобычи.

На Хромцовском карьере по добыче и переработке моренных песчано-гравийно-галечных образований осуществлена попытка количественной оценки сопутствующей золотоносности текущих отвальных хвостов с помощью сепаратора СЦВ-6. Для этой цели из существующего пульповода, транспортирующего общие отвальные хвосты, был сделан отвод с системой регулирования подачи пульпы на чашевый сепаратор. К сожалению, из-за неравномерности движения пульпы в основном пульповоде под достаточно высоким давлением, оптимизировать равномерную подачу пульпы не удалось, и было принято решение осуществить обработку нескольких укрупненных проб, отобранных разовым сбросом пульпы через отвод и последующим сбором обезвоженных

песков в единую пробу. Пробы обрабатывались путем ручной подачи песков и максимально возможной подачи чистой воды. Для оценки золотоносности по площади хвостохранилища проведено также технологическое картирование намыва песка.

При технологической обработке проб отбирались отсечки хвостов центробежной сепарации путем непрерывного пересечения потока мерной емкостью и сбора частных порций в единую пробу, материал которой обрабатывался на сепараторе. В итоге обработки проб получались концентрат СЦВ-6 исходной пробы и концентрат отсечки.

Полученные концентраты подвергались ручной доводке в фарфоровых чашках, после чего из полученных шлихов под бинокулярным микроскопом выделялось свободное золото. Выделенное золото расситовывалось по классам крупности и под микроскопом с помощью визуального подсчета определялось число золотинок каждого класса. Весовое содержание золота определялось взвешиванием в пробирной лаборатории или расчетом по весу единичной золотины, отнесенному к числу таких золотинок. В расчет исходного веса единичной золотины взят средний вес двухсот золотинок каждого класса. Полученные содержания колебались от первых единиц и десятков миллиграмм на кубический метр до 126 мг/м<sup>3</sup> по одной из проб.

Практически все золото находится в классе -0,25 мм вплоть до класса -0,04 мм. Отмечены единичные золотины крупностью -0,5 + 0,25 мм и более.

Таким образом организация попутной золотодобычи на Хромцовском ГОКе должна сводиться к максимально полному удалению крупного непродуктивного класса песков (+ 1 мм, возможно менее) и обогащению их минусовой фракции.

A. N. Sheleknov, V. V. Bedim, M. N. Sycheva, V. A. Lyuchkin, N. G. Vlasova, V. N. Chugunkin

#### A PRELIMINARY TECHNOLOGICAL ESTIMATION OF BY-PRODUCT GOLD EXTRACTION FROM TAILINGS OF IRON-FORMATION ORES AND SANDY-GRAVEL-PEBBLE FORMATIONS

*Gravity and flotation ore dressing techniques are shown to be efficient for by-product gold extraction from iron extraction tailings, and СЦВ-6 separator is good to be used for the same purpose in sandy-gravel-pebble quarries.*

# АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 550.837.75

© Коллектив авторов, 1996

## ИЗУЧЕНИЕ ВЕРХНИХ ЧАСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ МЕТОДОМ НАЗЕМНОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

В. Ю. АБРАМОВ, О. В. МИШИН (ЦНИГРИ Роскомнедра), М. Ю. ЛАПТЕВ,  
В. К. ТОМИЛИН (ТулНИГП)

*Предложен и опробован геометрический вариант системы радиоволнового интерференционного зондирования. Показана высокая геологическая информативность разработанной методики и аппаратуры серии «Геозонд», представляющей собой наземную модификацию аппаратуры скважинного радиопросвечивания.*

Детальное изучение верхних частей геологической среды мобильными, не нарушающими ландшафт, в т.ч. почвенный слой, геофизическими технологиями в последнее время приобретает все большее значение при решении геолого-картировочных, поисковых, геотехнических и экологических задач. В последние годы объем наземных геофизических исследований, направленных на изучение верхних частей геологических разрезов (ВЧР), увеличился как в России, так и за рубежом. Особенно это относится к технологиям высокочастотного радиоволнового и радиолокационного изучения геосреды, что связано с их высокой мобильностью, разрешающей способностью и технологическим уровнем используемой аппаратуры. В этих областях геофизики идет активное совершенствование старой аппаратуры и создается новая [3]; разрабатываются новые методики выполнения геофизических измерений и новые способы и алгоритмы их интерпретации [5]. Эти технологии и методики хорошо себя зарекомендовали при инженерно-геологических изысканиях, поисках неглубоко залегающих подземных вод, поисках и разведке россыпных месторождений и месторождений кор выветривания, торфяных залежей и др.

Возможность выделять при помощи просвечивания радиоволнами геологические границы между различными по физическим свойствам горными породами и выявлять в

них разнообразные включения были установлены еще в 1910 г. немецкими учеными Г.Лови и Г.Леймбахом [8]. Они же в 1912 г. предложили интерференционный метод для поиска твердых полезных ископаемых и воды. В нашей стране наиболее полно возможности радиоволнового интерференционного зондирования (РВИЗ) были освещены в работах В.А.Шемшурина [7]. Однако В.А.Шемшурин, в основном, занимался вопросами частотного варианта РВИЗ и в своих печатных работах лишь упоминал о возможностях геометрического варианта РВИЗ, результаты которого могут интерпретироваться аналогичным образом. В.К.Хмелевской [6] указывал на трудность отделения низкого по амплитуде отраженного сигнала от интенсивного прямого в частотном варианте РВИЗ, что затрудняет, а в ряде случаев исключает, возможность получения интерференционных кривых для последующей их интерпретации. Поэтому частотный вариант РВИЗ успешно мог применяться в основном лишь при поисках грунтовых вод в аридных районах на георазрезах с высокоомными осадочными породами.

Нами был опробован геометрический вариант РВИЗ — радиоволновое геометрическое зондирование (РВГЗ). Для проведения работ этим методом использовалась аппаратура «Геозонд-1» и «Геозонд-РЧ», представляющая собой наземную модификацию аппаратуры скважинного радиопросвечивания (РВМ-6).

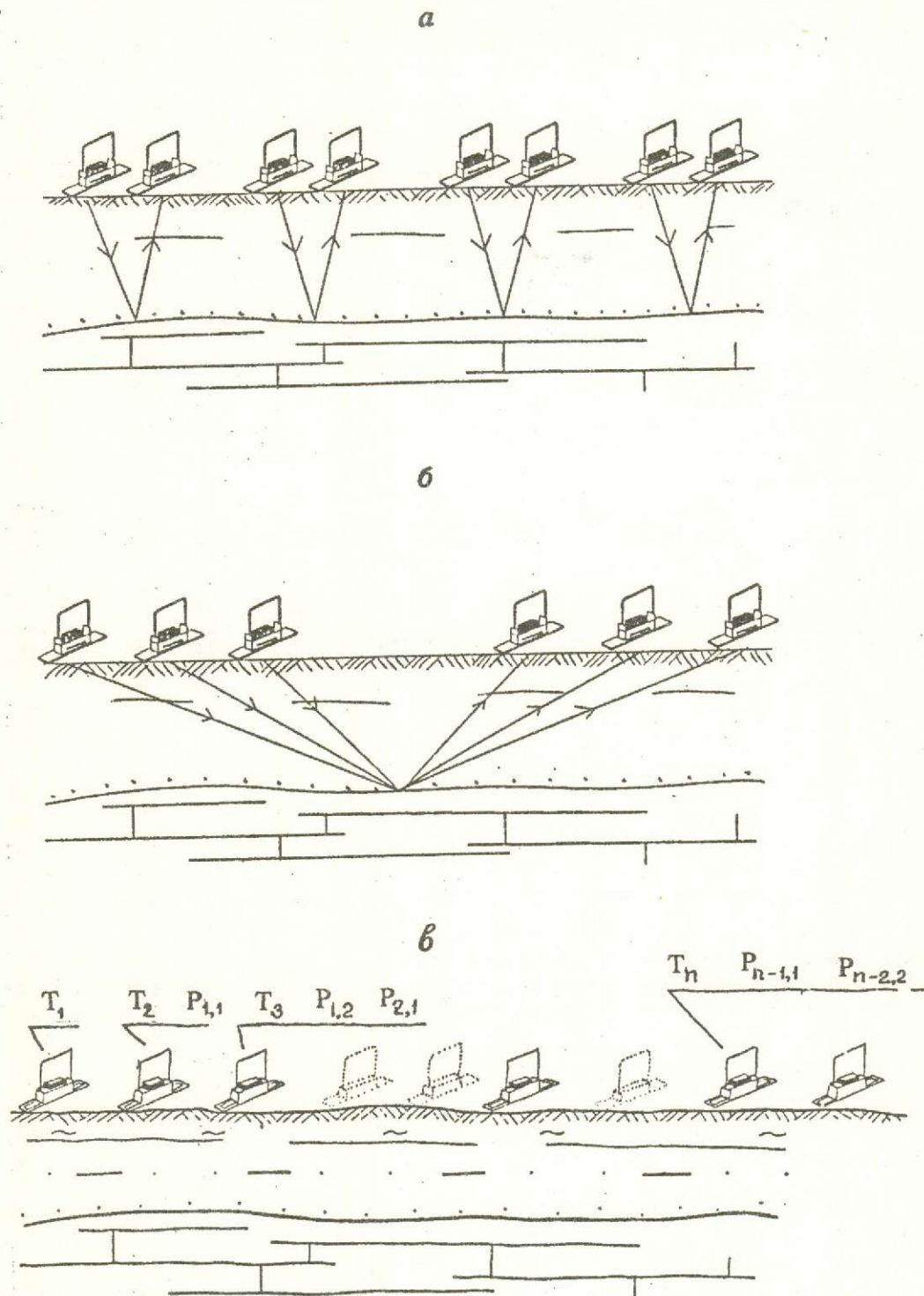


Рис. 1. Методы радиозондировочных наблюдений на профиле:

*a* — метод профилирования с фиксированным (постоянным) разномом между передатчиком (Т) и приемником (Р); *б* — метод профилирования с разными разностями между Т и Р и общей средней точкой между ними на точке пикета; *в* — метод профилирования с постоянным положением Т на точке пикета и смещающейся точкой Р (комбинирование методов *a* и *б*)

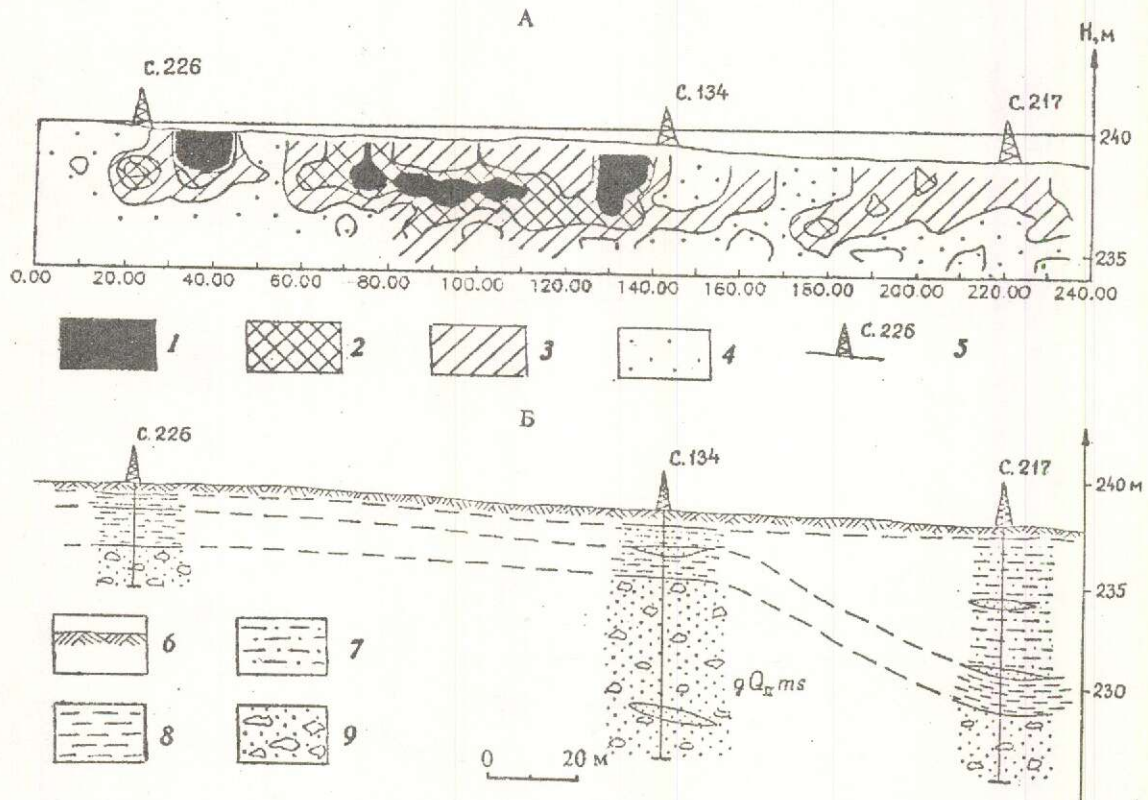


Рис. 2. Результаты опытного профилирования методом РВГЗ над горизонтально-залегающими фациально неоднородными моренными отложениями в Вяземском районе Смоленской области:

а — разрез по опытному профилю участка Городок Вяземского ГОКа результатов РВГЗ на частоте 1,25 МГц; б — геологический разрез по данным бурения под опытным профилем участка Городок Вяземского ГОКа; области распределения величин комплексного радиоволнового отношения: 1 —  $>4$ , 2 — 2—4, 3 — 1—2, 4 —  $<1$ ; 5 — точки устьев буровых скважин и их номера; 6 — почвенно-растительный слой; 7 — покровный суглинок коричневого; 8 — глина валунная моренная; 9 — песчано-гравийные отложения

Аппаратура «Геозонд-1» и «Геозонд-РЧ» изготавливается по разовым заявкам на производственной базе ТулНИГП (Тульское научно-исследовательское геологическое предприятие Роскомнедра). Передатчик мощностью 0,6 Вт излучает в непрерывном режиме высокостабильный по частоте и мощности немодулированный сигнал, который с помощью направленных антенн специальной конструкции (обеспечивающей высокое согласование выходных каскадов с поверхностью земли) обеспечивает максимальную отдачу излучаемой передатчиком

мощности в изучаемый георазрез. Кроме того, в аппаратуре «Геозонд-РЧ» применена принципиально новая конструкция антенны, обеспечивающая более высокий уровень согласования выходных каскадов с землей и повышена мощность передатчика (до 10 Вт). Расширен частотный диапазон зондирования — теперь он находится в пределах от 625 кГц до 62,5 МГц (возможно дальнейшее расширение в сторону понижения частот до 10 кГц, что позволит сопоставлять результаты РВГЗ с данными низкочастотной электроразведки).



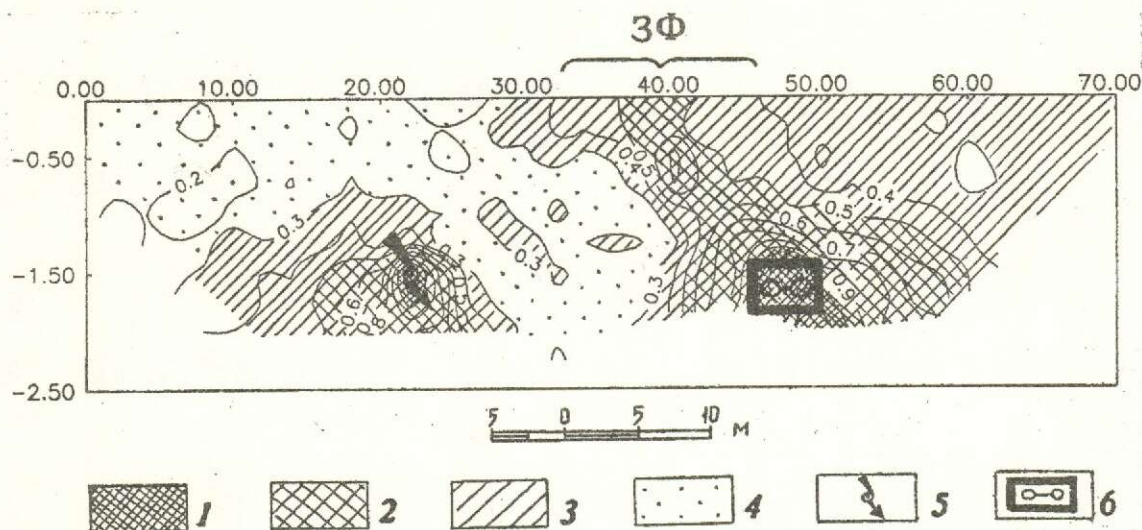


Рис. 3. Картирование зоны фильтрации (ЗФ) соленосодержащих вод от производственного здания 42-й РТС г.Москвы:

величины комплексного радиоволнового отношения: 1 —  $>1$ , 2 —  $1-0,5$ , 3 —  $0,5-0,3$ , 4 —  $<0,3$ ; 5 — силовой электрический кабель; 6 — железобетонный короб с теплотрассой

При проведении региональных мелко-масштабных работ наблюдения на профиле могут вестись методом зондирования или методом срединной точки (рис. 1, а и б). На участках детализации нам представляется более рациональной работа на профиле, синтезирующая оба метода (рис. 1, в), когда один и тот же пикет многократно используется как для стоянки передатчика, так и для стоянки приемника. Такая методика разрешает изучать распределение электромагнитных радиоволновых характеристик горных пород не только в плане, но и в разрезе. Результаты измерений по профилю, полученные таким образом, образуют двумерную матрицу, объем и размерность которой зависят от необходимой на конкретном объекте детальности исследований. Анализ этой матрицы дает возможность получать распределения в разрезе по горизонтали и вертикали радиоволновых петрофизических характеристик — импеданса (по отношению геометрических составляющих электромагнитного поля) и коэффициента поглощения. Геометризация наблюдений по глубине производится на основе расчета радиуса зоны

Френеля, после чего рассчитанные ранее импеданс и коэффициент поглощения уточняются методом последовательных приближений.

Опытные работы по применению аппаратуры и методики проводились на нескольких различных по геологическим и петрофизическим характеристикам объектах, по профилям, заверявшимся данными бурения или горными работами.

На участке Городок Вяземского песчано-гравийного ГОКа нами был пройден один профиль длиной 250 м (рис. 2). Расстояния между пикетами — 10 м, разнос между приемником и передатчиком от 5 до 20 м. Была достигнута глубинность исследования георазреза от 4,5 до 5,5 м на рабочей частоте 1,25 МГц. По результатам измерений четко выделилась область высоких значений комплексного радиоволнового отношения, коррелирующихся по положению в разрезе с пластом суглинков, перекрывающим песчано-галечные отложения московской морены.

На 42-й станции районной теплотрассы в Теплом Стане г.Москвы на частоте 4,5

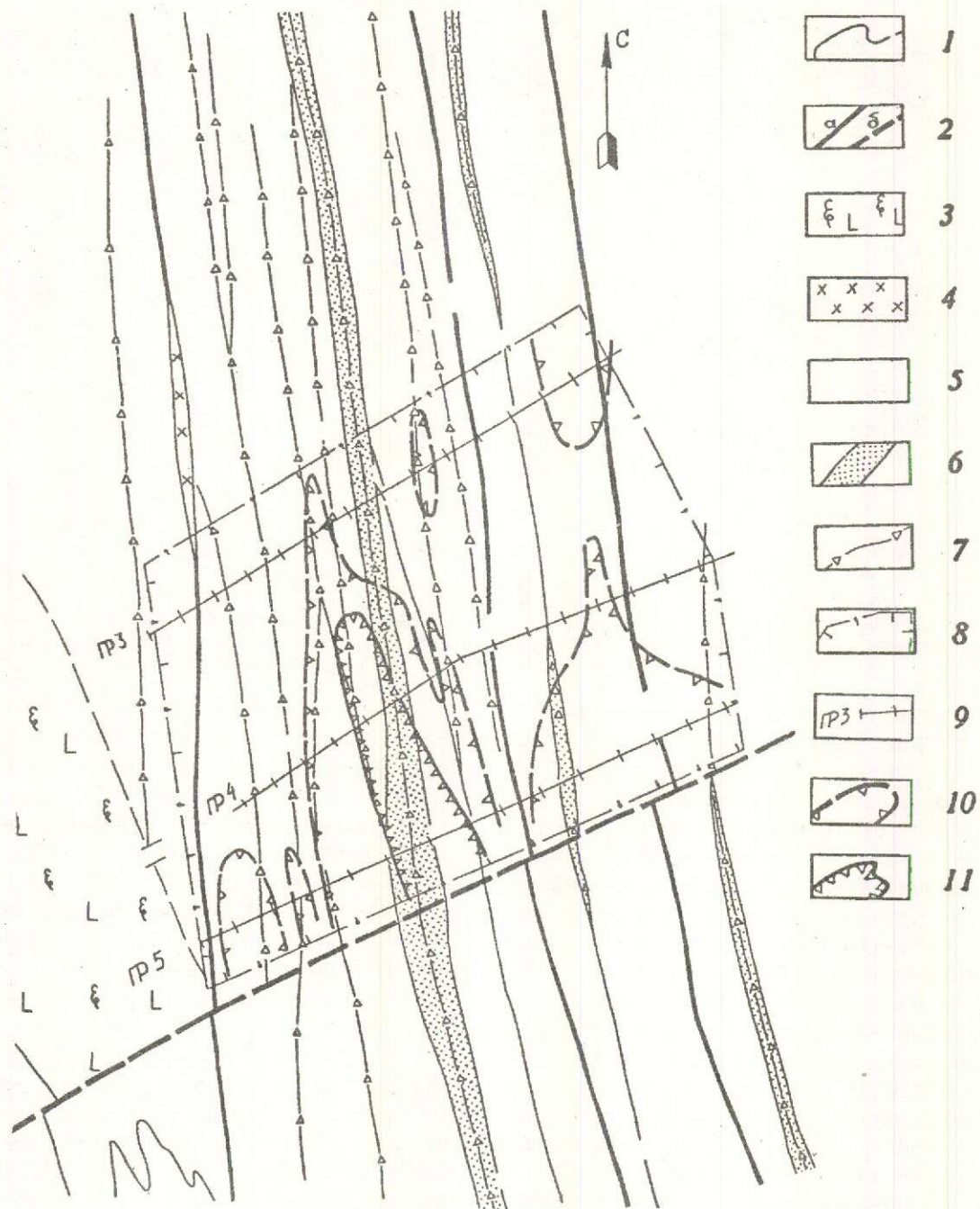


Рис. 4. Геологическая карта месторождения типа кор выветривания с данными РВГЗ-профилирования.

1 — геологические границы; 2 — разрывные нарушения: а — установленные, б — предполагаемые; 3 — вулканисты базальтового состава; 4 — гранит-порфиры; 5 — аповулканогенные сланцы различного состава; 6 — золоторудные зоны; 7 — линейные зоны брекчирования и дробления; 8 — границы участка РВГЗ-съёмки; 9 — профили радиоволновых наблюдений; золоторудные объекты в коре выветривания по данным радиоволнового зондирования: 10 — контрастно проявленные, обогащенные; 11 — слабопроявленные или с предполагаемой рудоносностью

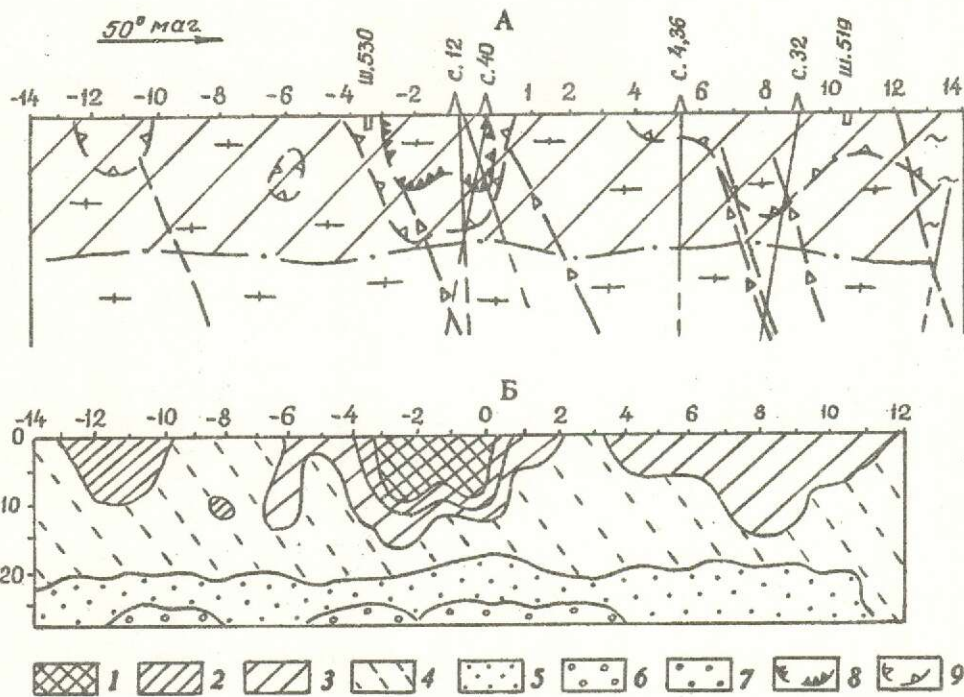


Рис. 5. Результаты профилирования методом РВГЗ по профилю 5 на месторождении золота типа кор выветривания:

а — схематический геологический разрез по профилю 5 с результатами интерпретации данных РВГЗ; Б — результаты радиоволнового геометрического зондирования по профилю 5; величины комплексного радиоволнового отношения: 1 —  $>5$ , 2 — 4—5, 3 — 3—4, 4 — 1—3, 5 — 0,5—1, 6 — 0,3—0,5, 7 —  $<0,3$ ; золоторудные объекты в коре выветривания: 8 — контрастнопроявленные, 9 — слабопроявленные с предполагаемой рудоносностью. Остальные усл. обозн. см. на рис. 4

МГц пройден профиль длиной 70 м с расстоянием между точками наблюдений 5 м для картирования верхов осадочного разреза под фундаментом РТС (рис. 3). Разнос между приемником и передатчиком составлял от 5 до 25 м. Глубинность исследований достигла только 3 м, что было вызвано сильной засоленностью грунтов под зданием РТС и рядом с ним. На разрезе четко выделились все инженерные коммуникации, идущие от здания, и основное русло стока засоленных вод, совпадающее с руслом оврага, существовавшим здесь до технологической засыпки.

На одном из месторождений золота типа кор выветривания выполнялись работы РВГЗ для картирования жильно-разломных зон и зон россыпной золотоносности. Было снято 3 профиля общей длиной 750 м. Шаг между пикетами был равен 10 м, разности антенн — от 10 до 100—120 м, частоты — 0,625, 1,25 МГц. Глубинность достигла 30 м.

В результате работ (рис. 4, 5) выделены: кора выветривания,  $m = 15-20$  м;

золоторудные зоны в коре и ниже коры; контрастные аномалии, соответствующие обогащенным золоторудным объектам в коре выветривания.

Кроме того, мы провели тем же методом опытные работы по картированию отвалов горно-металлургического комбината (рис. 6) с целью выявления в них участков с повышенным содержанием концентрата и металла в хвостах. Измерения проводились на частоте 4,5 МГц по четырем профилям длиной 30—35 м, расстояние между пикетами — 5 м, разности между антеннами приемника и передатчика — от 5 до 25 м. В результате были выделены участки отвалов, обогащенные металлами и концентратами, пригодными для вторичного обогащения и вовлечения в металлургическую переработку. Глубинность работ на этом объекте составила 6—8 м.

Работы выполняются бригадой из двух человек. Вес аппаратуры, в снаряженном состоянии — около 10 кг. Средняя производительность работ при шаге в 5 м состав-

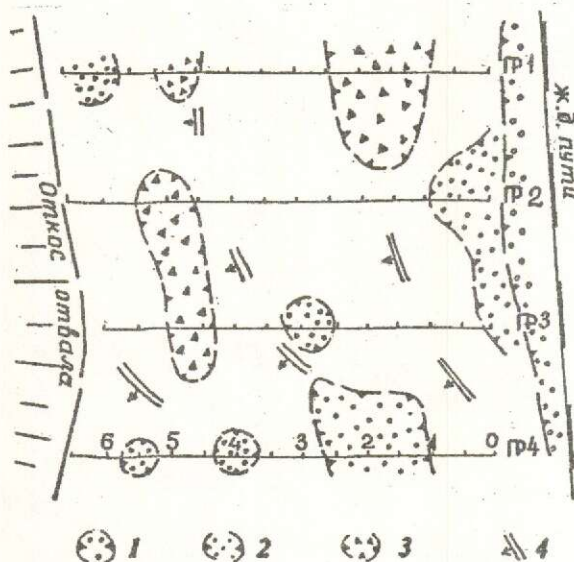


Рис. 6. Схема интерпретации результатов геометрического РВ-зондирования на отвалах горно-металлургического комбината.

ляет 300—700 м в день в зависимости от проходимости и требуемой детальности съемки.

Таким образом, анализируя опыт апробации геометрического варианта радиоволнового интерференционного зондирования (РВГЗ), можно сделать вывод о достаточно высокой геологической информативности этой технологии и использованной аппаратуры серии «Геозонд». С помощью этих методик и аппаратуры можно решать большой круг геологических и инженерно-геологических задач, таких как:

поиск участков россыпной металлоносности;

литолого-фациальное картирование сло-

ев осадочных горных пород в плане и разрезе;

выделение литологических, фациальных и техногенно-антропогенных неоднородностей внутри отдельных слоев разреза; поиски грунтовых вод или участков разреза с повышенной обводненностью;

выявление участков техногенного загрязнения и засоления грунтов и почв;

обнаружение и прослеживание подземных инженерных коммуникаций;

другие геологические и инженерно-геологические задачи, решения которых имеют сходное содержание.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский А.А., Достовалов Б.Н. Волномерный метод в применении к изучению верхнего слоя почвы // Тр. Ин-та мерзлотоведения. 1947. Т. V.
2. Петровский А.Д. Радиоволновые методы в полевой геофизике. — М.: Недра, 1971.
3. Пятницкий В.И., Абрамов В.Ю. Обзор состояния георадарных технологий и аппаратуры в России и за рубежом // Руды и металлы. 1995. № 6. С. 81—89.
4. Тархов А.Г. Определение электрических свойств горных пород по затуханию радиоволн // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1956.
5. Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. — М.: Недра, 1986.
6. Хмелевской В.К. Электроразведка. — М.: Изд-во МГУ, 1984.
7. Шемшурин В.А. Методическое руководство по радиоволновому зондированию при разведке подземных вод в аридной зоне. — М.: Госгеолтехиздат, 1962.
8. Lowy H., Leimbach G. Eine elektrodynamische Methode zur Erforschung des Erdinneren (Zweite Mitteilung) // Phys. Zeitschrift. 1912. B. 13. № 9. p. 397—404.

V. Yu. Abramov, O. V. Mishin, M. Yu. Laptev, V. K. Tomilin

#### EXAMINATION OF UPPER PARTS OF GEOLOGICAL SECTIONS BY MEANS OF OVERGROUND RADIO SOUNDING

*A geometric version of interference-based radio sounding technique has been proposed and tested. High geological informativity of the method and «Geozond» equipment, which is an overground version of borehole radio shadow equipment, is shown.*

**ПОЗДРАВЛЯЕМ**



---

**Шестидесятилетие В.М. Минакова**

Виктор Михайлович Минаков – заведующий отделом горно-буровых технологий и технических средств геологоразведочных работ, кандидат технических наук, лауреат премии Совета Министров СССР, отличник Разведки недр, председатель секции Ученого Совета ЦНИГРИ по технике разведки, работает в ЦНИГРИ с 1962 года.

Специалист высокой квалификации, исследователь-экспериментатор, В.М.Минаков за эти годы выполнил ряд актуальных научных исследований по бурению геологоразведочных скважин на россыпных месторождениях с целью повышения качества опробования и производительности работ в сложных геологических условиях. Внедрение этих рекомендаций в производство геологоразведочных работ в значительной степени способствовало выполнению геологических заданий по приросту запасов минерального сырья в основных золотодобывающих регионах страны.

Виктор Михайлович активно участвовал в разработке технической политики Мингео СССР и Роскомнедра РФ в области разведочного бурения на золотоносных россыпях, в проведении крупных общепромышленных совещаний, пропагандируя передовые достижения ЦНИГРИ, возглавлял научно-исследовательские работы по созданию новой техники в филиалах института в Туле, Баку, Тирнаузе. В настоящее время В.М.Минаков руководит исследованиями по решению новой, технически сложной проблемы – разработке техники и технологии скважинной гидродобычи золота.

Благодаря большому авторитету в коллективе института, доброжелательности, выдержке, умению спокойно решать сложные проблемы человеческих взаимоотношений, обаянию Виктора Михайловича коллектив института неоднократно доверял ему руководство общественными организациями ЦНИГРИ.

Кавалер ордена «Знак почета», ветеран труда, награжденный отраслевыми наградами и медалями ВДНХ, Виктор Михайлович находится в расцвете творческих сил.

Пожелаем ему здоровья, больших научных достижений, неиссякаемой энергии, благополучия и долгих лет жизни!

## Поздравляем Абрама Лазаревича Вильшанского

Абрам Лазаревич Вильшанский — ветеран Великой Отечественной войны, проработал в ЦНИГРИ более четверти века. 25 октября 1996 года ему исполнилось 95 лет.

Немногим достается столько лет насыщенной, интересной и нелегкой жизни. После гибели родителей, ему пришлось трудиться 13-ти летним «мальчиком на побегушках» в торговой лавке в одном из городков Полтавщины.

После службы в Красной Армии, которую он проходил в Ленинграде, Абрам Лазаревич поселяется в Москве, где скоро поступает учиться на рабфак искусств им. Луначарского. С 1926 года он связал свою жизнь с редакционно-издательской деятельностью. Несколько лет он работает редактором в ОГИЗ'е и в самом начале войны уходит добровольцем в народное ополчение. Всю войну он служил в Армии, занимаясь снабжением стрелковых полков, сражавшихся на передовых рубежах, и прошел с ними от Москвы до Германии.

В 1946 году он был демобилизован и вновь вернулся к редакционно-издательской работе. Сначала он поступил в трест «Золоторазведка», но через год его переводят в институт «НИГРИзолото» (ЦНИГРИ), где он долгие годы руководил редакционно-издательской деятельностью института.

С участием А.Л.Вильшанского была выпущена одна из первых изданий института — «Сборник материалов по геологии золота и платины». Им отредактировано опубликовано более 70 выпусков трудов ЦНИГРИ, а также большое число монографий и брошюр по различным вопросам геологии благородных, цветных металлов и алмазов. Все публикации, проходившие редактуру Абрама Лазаревича, всегда отличались высоким качеством литературной обработки.

Будучи очень доброжелательным человеком, Абрам Лазаревич предлагал авторам те или иные улучшения рукописей в такой деликатной форме, что все принималось неукоснительно. Таким обращением и своим трудолюбием людьми Абрам Лазаревич снискал не только уважение, но и симпатии всего коллектива института. Он внес в творческую деятельность научных сотрудников высокую культуру геологического литературного языка. Огромная работа велась им по организации изданий в сторонних типографиях с целью быстрее выхода в свет трудов ученых института. Все это приводило к скорейшему внедрению и широкому распространению научных разработок ЦНИГРИ.

Уйдя на заслуженный отдых в 1973 году А.Л.Вильшанский, не прерывал связи с институтом. В последние годы он занялся литературным трудом, подготовил воспоминания о прожитых годах, особенно о Великой Отечественной войне.

Желаем Абраму Лазаревичу доброго здоровья и надеемся, что его мемуарные труды, по достоинству оценят новые поколения.

*Дирекция ЦНИГРИ и Ученый Совет ЦНИГРИ  
Совет ветеранов ЦНИГРИ  
Редколлегия*

## Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 1996 году

### Прикладная металлогения

*Быховский Л.З., Машковцев Г.А., Самсонов В.Г., Эпштейн Е.М.*

Рациональное использование недр — основной путь повышения качества и конкурентоспособности минерально-сырьевой базы России. № 6. С. 5.

*Горжевский Д.И., Донец А.И.* Роль авлакогенов Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в формировании и размещении месторождений полезных ископаемых. № 6. С. 14.

*Зорина Ю.Г., Пшенина И.А., Мирлин Е.Г.* Строение океанических рифтов и субмаринное гидротермальное рудообразование. № 1. С. 25.

*Козлов А.В.* Пространственно-временные и генетические соотношения рудной и хрусталеносной минерализаций (на примере Приполярного Урала). № 3. С. 21.

*Константинов М.М., Косовец Т.Н.* Золото-кварцевые месторождения в турбидитах Южной Якутии. № 3. С. 5.

*Кременецкий А.А., Осокин Е.Д., Усова Т.Ю.* Проблемы минерально-сырьевой базы редких металлов России. № 1. С. 5.

*Сазонов А.М., Гринев О.М., Шведов Г.И., Алгебраистова Н.К., Рюмин А.И., Алексеева Е.А., Бухаров В.А.* благородно-металлическая рудоносность Кия-Шалтырского габбро-уртитового плутона. № 1. С. 17.

*Столяров А.С.* Проблемы формирования крупномасштабных концентраций марганца в сероводородных бассейнах и перспективы их выявления в России. № 1. С. 32.

*Фролов А.А., Белов С.В., Бурмистров А.А.* Перспективы увеличения ресурсов апатитовых руд и размещение сырьевых источников в России (на примере месторождений карбонатитового типа). № 1. С. 9.

### Металлогения Русской платформы

*Быховский Л.З., Зубков Л.Б., Патык-Кара Н.Г.* Перспективы промышленного освоения титано-циркониевых россыпей Русской платформы и задачи дальнейших исследований. № 2. С. 28.

*Ваганов В.И., Варламов В.А., Голубев Ю.К., Фельдман А.А., Сычкин Н.И., Демченко Б.М., Бич А.В.* Центральная часть Восточно-Европейской платформы — новая алмазоперспективная территория. № 2. С. 10.

*Воларович Г.П.* Месторождения золота России в карбонатных породах. № 2. С. 76.

*Горжевский Д.И., Ручкин Г.В., Володин Р.Н., Донец А.И.* Месторождения цветных и благородных металлов осадочных бассейнов чехлов древних платформ и геологические предпосылки их открытия на Русской платформе. № 2. С. 17.

*Иванкин П.Ф.* Проблема металлоносности галогенных формаций Восточно-Европейской платформы (ВЕП). № 2. С. 60.

*Казаринов С.Л.* Формационный подход к золотороссыпным объектам как основа их типизации. № 2. С. 65.

*Константиновский А.А., Волчков А.Г., Конкин В.Д., Захарова О.Н.* Доманиковские слои центральной части Русской плиты и их потенциальная рудоносность. № 2. С. 54.

*Мигачев И.Ф., Клюквин А.Н., Сычкин Н.И., Ручкин Г.В.* Основные результаты исследований рудоносности чехла Восточно-Европейской платформы и приоритетные направления геологоразведочных и научно-исследовательских работ. № 2. С. 5.

*Тюленева В.М., Пеньков В.Ф., Комарова Г.В.* Оценка перспектив и критерии локализации урано-битумного оруденения в осадочном чехле Русской платформы (Среднее Поволжье). № 2. С. 38.

*Халезов А.Б.* Основные типы уранового оруденения востока Русской платформы, их генезис и перспективы. № 2. С. 48.

### Золото республики Коми

*Акимов Л.В.* Золотоносные россыпи р.Кожим и опыт их отработки. № 4. С. 56.

*Водолазская В.П., Берлянд Н.Г., Котов К.Н., Шергина Ю.П., Маревичев А.М., Акимов Л.В.* Кожимская область тектономагматической активизации и ее золотоносность. № 4. С. 16.

*Гранович И.Б., Тарбаев М.Б.* Минерально-сырьевая база золота Республики Коми и пути ее освоения. № 4. С. 5.

*Деревянко И.В., Жарков В.А.* Перспективы алмазности гряды Чернышева. № 4. С. 90.

*Дудар В.А.* Россыпи Среднего Тимана. № 4. С. 80.

*Кочетков О.С.* Золотоносность Тимана. № 4. С. 66.

*Майорова Т.П.* Минералогия и типоморфизм золота кайнозойских россыпей севера Урала и Тимана. № 4. С. 45.

*Озеров В.С.* Метаморфизованные россыпи золота Приполярного Урала. № 4. С. 28.

*Риндзюнская Н.М., Полякова Т.П., Ладыгин А.И.* Золотоносные коры выветривания Приполярного Урала. № 4. С. 38.

*Риндзюнская Н.М., Полякова Т.П., Акимова Р.С., Матвеева Е.В.* Самородки золота бассейна реки Кожим. № 4. С. 60.

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

*Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* Проблемы шлихо-минералогических поисков алмазов на закрытых территориях Якутии. № 6. С. 26.

*Лихачев А.П., Кириков А.Д., Ваганов В.И., Илупин И.П., Константинов М.М., Стружков С.Ф., Симонов О.Н.* Исследование изотопного состава железа минералов руд и горных пород месторождений алмазов, цветных, благородных и черных металлов — новый метод решения генетических проблем. № 1. С. 39.

*Миловский Г.А., Бачманов Д.М.* Оптимизация применения космических данных при прогнозе золото-серебряных месторождений в Маданской области. № 6. С. 34.

*Спорыхина Л.В., Орлова Н.И., Петроченков А.А.* Методика поисков и прогнозирования полигенных россыпей олова и золота. № 3. С. 31.

*Толстогузов А.Б., Ваганов В.И., Илупин И.П., Китаева Т.И., Паничкин И.Ю.* Применение масс-спектропии вторичных ионов (МСВИ) для анализа микропримесей в гранатах из кимберлитовых трубок Якутии. № 3. С. 38.

*Федоров М.Ю.* Использование растро-

вых изображений при обработке пространственных геохимических данных. № 6. С. 42.

*Чижова И.А., Кузнецов В.В., Лебедева Е.А.* Основы технологии проектирования интеллектуально-графических экспертных систем (ИГС). № 1. С. 48.

**Строение рудных месторождений**

*Горжевский Д.И., Донец А.И., Конкин В.Д., Кудрявцева Н.Г., Кузнецова Т.П.* Регенерация сульфидных руд свинцово-цинковых месторождений. № 1. С. 57.

*Галецкий Л.З., Доброхотов С.М.* Золоторудная минерализация Среднего Приднепровья (Украинский щит). № 6. С. 49.

*Кучеревский П.Г.* Вулканогенная щелочно-базальтовая формация и золото-сульфидное оруденение кокпатаасского типа (Ц. Кызылкумы). № 3. С. 63.

*Лихачев А.П.* Хараелахский интрузив и его платино-медно-никелевые руды. № 3. С. 48.

*Риндзюнская Н.М., Полякова Т.П., Берзон Р.О.* Признаки различия золотоносных кор выветривания и гидротермальных аргиллизитов. № 1. С. 73.

*Степанов В.А., Черемисин А.А.* Бамский золоторудный узел Приамурья. № 1. С. 64.

*Чекалин В.М.* Геолого-генетическая модель Змеиногорского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай). № 6. С.

**Научно-методические основы и практика рудноформационного анализа**

*Горжевский Д.И.* История возникновения и современное использование понятия "рудные формации". № 5. С. 5.

*Кудрин В.С., Архангельская В.В., Эпштейн Е.М.* Особенности рудноформационного анализа месторождений литофильных редких металлов. № 5. С. 18.

*Кудрявцев Ю.К.* Ряды и сочетания рудных формаций палеозойских медно-порфировых провинций. № 5. С. 26.

*Контарь Е.С.* Латеральные и вертикальные ряды месторождений черных и цветных металлов в геологической истории Урала. № 5. С. 10.



*Лутков Р.И., Соловьев Г.А., Ведлева И.В.* Принципы рудноформационного анализа разноранговых геоструктур (на примере Урала). № 5. С. 35.

*Павловский А.Б., Маршукова Н.К., Бурова Т.А.* Рудноформационный анализ и новые типы оловянного оруденения. № 5. С. 43.

*Рахматуллаев Х.Р., Терлецкий О.Г., Абдурахманов А.А., Мирусманов М.А., Казакбаева С.М.* Семейство рудных формаций герцинской тектоно-магматической активизации территории Узбекистана (Западный Тянь-Шань). № 5. С. 50.

*Сидоров А.А., Томсон И.Н.* Место крупных месторождений в рядах рудных формаций. № 5. С. 56.

*Фогельман Н.А.* Базовые формации или геолого-генетические модели? № 5. С. 63.

#### Комплексное использование минерального сырья

*Клименко Н.Г., Ахмедов А.З.* Пути эффективного использования окисленных полуметаллических руд. № 6. С. 68.

*Романчук А.И., Задорнов М.М., Ивановская В.И., Матевич Т.Н.* Возможности комплексного использования железо-марганцевых образований (ЖМО) Мирового океана. № 6. С. 70.

*Шелехов А.Н., Бедим В.В., Сычева М.Н., Лючкин В.А., Власова Н.Г., Чупупкин В.Н.* Предварительная технологическая оценка попутного извлечения золота из хвостов руд железистых кварцитов и песчано-гравийно-галечных образований. № 6. С. 76.

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

*Абрамов В.Ю., Мишин О.В., Лаптев М.Ю., Томилин В.Н.* Изучение верхних частей геологических разрезов методом наземного радиозондирования. № 6. С. 78.

*Зданович Ю.С., Небольсин Д.Н., Сабиров Х.С.* Экспресс-анализ геологических образцов на золото. № 3. С. 68.

*Казанцев Р.А., Кругляков В.В., Павловский В.И., Подшувейт В.Б., Подшувейт Г.Л., Такки Д.Ф., Фоменко В.А.* Применение локации бокового обзора дальнего действия при картировании рудных полей полиметаллических конкреций океанических котловин. № 1. С. 78.

*Романчук А.И., Матевич Т.Н., Ивановская В.П., Никулин В.А., Королев А.Б.* Обезвреживание цианосодержащих стоков природными сорбентами-катализаторами. № 1. С. 81.

*Хорев В.А.* Прогрессивная технология буровзрывных работ при проведении подземных выработок. № 3. С. 73.

#### Дискуссии

*Комаров П.В.* Минералогические закономерности и развитие петро-геохимических и геохимических методов поисков. № 3. С. 76.

*Четвериков Л.И.* Методика дифференцированной оценки погрешности пробы. № 3. С. 82.

#### Новости. Информация

*Константинов М.М.* Фундаментальный труд китайских геологов. № 1. С. 84.

*Алпатов А.И., Вишневский В.А., Чабан В.А., Егоров Б.Н.* Новое оборудование для извлечения мелких ценных минералов и тонкого золота из песков. № 1. С. 90.

#### Хроника

*Новак Блечич.* Югославское совещание по рудничной геологии. № 5. С. 73.

#### Поздравляем

Шестидесятилетие А.Н.Барышева. № 1. С. 93.

Шестидесятилетие Б.И.Беневольского. № 2. С. 88.

Восьмидесятилетие Д.И.Горжевского. № 2. С. 86.

Шестидесятилетие В.М.Минакова. № 6. С. 84.

Шестидесятилетие Л.Ф.Мызенковой. № 1. С. 94.

Юбилей Л.А.Николаевой. № 2. С. 87.

Пятидесятилетие Г.В.Седельниковой. № 1. С. 93.

Поздравляем с шестидесятилетием Копылова Г.К., Набровенкова О.С., Орьева В.А.. № 5. С. 75.

Девяностопятилетие А.Л.Вильшанского. № 6. С. 84

## Памяти

Н.В.Глухосдова. № 3. С. 86.

## Спецвыпуск

Амосов Р.А. Несколько слов о прекрасном человеке. С. 22.

Андреева М.Г. П.С.Бернштейн и его лаборатория. С. 17.

Берзон Р.О. Деятельность — от слова делать. С. 37.

Биндеман Н.Н. Мой старший товарищ — Н.И.Бородаевский. С. 39.

Бочек Л.И. Судьбы бесценный подарок. С. 12.

Вихтер Б.Я. С.Д.Шер — видный ученый в области глобальной металлогении золота. С. 96

Волярович Г.П. Путь Ю.П.Казакевич по золотым россыпям. С. 51.

Волярович Г.П. В.А.Новиков — ученый-новатор. С. 82.

Гаврилов А.М. Памятные годы с П.С.Бернштейном. С. 10.

Гурейкин Н.Я. С.Д.Шер в западном Узбекистане. С. 98.

Еремин И.В. Один из первых моих учителей на геологическом поприще. С. 16.

Зверева Е.А. Вехи геологической жизни С.Д.Шера. С. 88.

Зверева Е.А., Гурейкин Н.Я. Популяризатор науки и мастер слова. С. 101.

Коновалова М.С. Основатель лаборатории минералогического анализа. С. 84.

Константинов М.М. П.С.Бернштейн — вехи творческой биографии. С. 8.

Коньшев В.О. О неопубликованной классификации золоторудных месторождений Н.И.Бородаевского. С. 30.

Лайпанов Х.Х. С.Д.Шер — учитель и соратник. С. 100.

Матвеева Е.В. В верховьях Витима. С. 60.

Мачильский В.А. Андрей-Костыль. С. 72.

Набровенков О.С. Уроки Ю.П.Казакевич. С. 53.

Николаева Л.А. Н.И.Бородаевскому. С. 43.

Николаева Л.А. К 60-летию Ю.П.Казакевич. С. 61.

Николаева Л.А. В.А.Новиков — исследователь, педагог, человек. С. 85.

Николаева Л.А. Ирония во спасение. С. 104.

Новиков В.М. Встречи с А.И.Казариновым. С. 75.

Новожилов Ю.И. Незабываемое время. С. 35.

Разин Л.В. Памяти А.И.Казаринова. С. 63.

Поэтическая страничка. С. 78.

Рыжов Б.В. Разные лики Ю.П.Казакевич. С. 57.

Стороженко А.А. Ю.П.Казакевич на золотой Лене. С. 55.

Синюгина Е.А. Слово о мастере. С. 106.

Стороженко А.А. Новые перспективы золотой Лены. С. 93.

Тучнина Н.Н., Кальниченко С.С. Геологическая судьба Ю.П.Казакевич. С. 48.

Черемисин А.А. Памяти учителя. С. 33.

Фельдман А.А. А.И.Казаринов на центральном Алдане. С. 68.

Чувикина Н.Г. Воспоминания о П.С.Бернштейне. С. 21.

Шехавцова В.В. С Н.И.Бородаевским на Южном Алтае. С. 42.

Эпштейн Ю.А. Геолог — милостию божьей. С. 64.

Яблокова С.В. На золотом Куранахе. С. 71.

Яновский В.М. Золотая школа Н.И.Бородаевского. С. 28.

Распределение научных статей, опубликованных в нашем журнале в 1996 году, по организациям и странам

	Научные организации	Производственные организации
Москва	44	
Россия	12	12
СНГ	3	
Дальнее зарубежье	1	

**SOFTSERVICE - ЦНИГРИ**  
компьютерные технологии информатизации геологоразведочных и горнодобычных работ

**SOFTSERVICE**

- крупнейший поставщик программного обеспечения на российском рынке;
- официальный дистрибьютор американских компаний Computer Associates и Oracle;
- партнер Microsoft.

**ЦНИГРИ (СКАЦ - специализированный компьютерный аналитический центр)**

- ведущий научно-исследовательский институт геологоразведочной отрасли;
- прогрессивные компьютерные технологии геологоразведочных и горнодобычных работ, переработки и анализа руд;
- мониторинг минерально-сырьевой базы, геолого-экономическая оценка месторождений и конъюнктуры минерального сырья.

SoftService и ЦНИГРИ - признанные лидеры в сфере своей деятельности. Совместный потенциал определяется высококвалифицированными специалистами, высокой технической и технологической вооруженностью.

Партнерами SoftService и ЦНИГРИ являются более 1000 организаций, занимающихся научной, учебной и предпринимательской деятельностью в России и зарубежом.

*Если Вы не провели информатизацию производства, если есть проблемы мы готовы помочь и предложить:*

- техническую поддержку;
- помощь в выборе программных продуктов;
- выбор средств разработки;
- разработку и распространение реальных инженерных решений;
- семинары и конференции;
- курсы обучения.

Важнейшим условием успеха информатизации является выбор программных средств ее ведения.

В геологоразведочной отрасли Oracle принят как базовый программный продукт при создании информационных систем, баз и банков данных, систем client/server/.

Фирма SoftService - официальный дистрибьютор компании Oracle предоставляет программное обеспечение по самым низким в России ценам и дает рекомендации по его использованию, проводит обучение персонала.

**SoftService**

(095) 976-89-53  
(095) 932-92-18  
Fax: (095) 976-0133  
          932-9218  
Email:  
oracle@softservice.msk.ru

**ЦНИГРИ**

095) 315-43-47  
095) 315-06-29  
Fax: (095) 315-27-01  
Email: tsnigri@vlkuz.msk.ru

Технический редактор Н. П. Кудрявцева  
Редакция: Н. И. Назарова, И. В. Крейгер, А.Э.Седельникова

Сдано в набор  
17.09.96  
Подписано в печать  
25.09.96  
Тираж 250 экз.

Формат 185×270 1/8  
Бумага офсетная №1  
Печать офсетная  
Заказ

Адрес редакции: 113545 Москва, Варшавское шоссе, 129«Б», ЦНИГРИ  
Телефон: 315-28-47  
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129«Б»



**ЦНИГРИ**

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

## **ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА «SPRING» ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

SPRING (прогнозная интеллектуально-графическая система) демонстрирует новый уровень развития экспертных систем.

Общая схема действия технологии SPRING состоит из трех взаимосвязанных блоков – информационно-аналитического с использованием ГИС-технологий (визуализации исходной информации); интеллектуально-графического (принятия решений) и информационного (визуализации результатов работы системы). Основой для работы всех трех блоков является база знаний системы, разработанная на фактографической и графической информации по эталонным объектам того или иного ранга – в зависимости от стоящей перед системой задачи. Основой базы знаний являются банки данных, сформированные по данным параметрических моделей месторождений.

Работа системы начинается с представления пользователю информации по распределению прогнозных ресурсов, запасов, добычи и т.д. в изучаемом районе в пределах рудных районов, полей, месторождений, рудопроявлений и т.д., что позволяет наметить оптимальные площади для прогноза, поисков и оценки.

После выбора участка пользователь и система вступают в диалог, причем этот режим предусматривает анализ и оценку как графического, так и фактографического материала. Важнейшими здесь являются интеллектуальные возможности системы: выбирается следующий вопрос на основании анализа предыдущих ответов; в случае достаточности информации по объекту для принятия решения опрос прекращается.

Работа системы SPRING ориентирована на четыре типа заключений: опознание

элементов рудного или окolorудного пространства, к которому следует отнести объект оценки;

ожидаемый формационный тип оруденения;

масштаб прогнозируемого оруденения с приведением конкретных цифр прогнозных ресурсов;

удаленность объекта оценки от рудного тела.

Визуализация результатов осуществляется на графической основе с корректировкой исходных показателей на основе рекомендаций системы.

Адрес: 113545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129"Б", ЦНИГРИ  
Телефон: (095) 315-43-47  
Факс: (095) 315-27-01