

ИЗВЕСТИЯ

УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО ИНСТИТУТА

2 · 1995



ЕКАТЕРИНБУРГ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

УРАЛЬСКИЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

ИЗВЕСТИЯ
УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО ИНСТИТУТА

СЕРИЯ
ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

Вып. 2. 1993



Екатеринбург

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
ИЗВЕСТИЙ УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО ИНСТИТУТА

Член-корр. АЕН РФ, проф. И. В. Дементьев (главный редактор)
Проф. В. П. Алексеев, проф. О. Н. Грязнов (зам. главного редактора), проф.
Э. С. Лапин, доц. Ю. И. Лель, проф. В. А. Масленников, проф. М. Б. Носырев, проф.
В. М. Сапожников, Л. В. Устюнцева (ответств. секретарь), проф. В. С. Хохряков

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ: ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

Проф. В. П. Алексеев (ответственный редактор)
Проф. В. И. Бондарев, д-р геол.-мин. наук А. В. Давыдов, д-р геол.-мин. наук
В. А. Душин, проф. Э. Ф. Емелин, доц. С. В. Кривихин (ответственный секретарь),
проф. В. Ф. Мягков, проф. В. М. Сапожников (зам. ответственного редактора)

и (1801000000+1803010000)-22 115-22-93
5K2(02)-93

© Уральский горный ин-т
им. В. В. Вахрушева, 1993

ISBN 5-230-25503-X

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие Козаков Е. М., Пахомов В. П., Игнатьева М. Н. Научная концепция переоценки минерально-сырьевой базы Российской Федерации	7
---	---

Вопросы методологии и методики исследований

Алексеев В. П., Кошевой В. Н., Кривихин С. В., Максимов В. А., Расулов А. Т., Рефат С. М., Русский В. И. К необходимости переоценки роли генетических исследований в угольной геологии	14
Вяткин В. Б. К вопросу информационной оценки признаков при прогнозно-геологических исследованиях	21
Зотеев В. Г., Зотеев О. В., Костерова Т. К. Методика обработки массовых замеров трещиноватости на ЭВМ	28
Сапожников В. М. Компьютерная петрофизическая классификациярудовмещающих горных пород по диаграммам каротажа	35
Серков В. А. Автоматизированная система интерпретации результатов рудной петрофизики	41
Ошкордин О. В. Комплексный анализ сложных геолого-технических условий бурения	46

Общая, историческая и региональная геология

Богоявлевская О. В., Лобанов Е. Ю. Строматопораты и гелнолитоиды Уральского палеозойского бассейна	52
Горожанкин В. Т. Горизонтальные движения земной коры и их структурные формы проявления, прогнозирование месторождений полезных ископаемых	63
Душин В. А. Палеовулканические критерии прогнозирования позднерифейского и раннепалеозойского эндогенного оруденения западного склона севера Урала	68
Анфимов Л. В. Рифейский осадочно-породный бассейн на Южном Урале	75
Слободчиков Е. А. Строение и генезис Тастысайской кольцевой структуры (Южные Мугоджары)	86
<u>Кейльман Г. А.</u> , Лукин В. Г. Алмазы в гнейсовом комплексе	92

Минералогия, петрография и геохимия

Иванов О. К., Вилисов В. А. Флогопитовые ультрамафиты в концентрически зональных дунит-пироксенитовых массивах Платиноносного пояса Урала	95
Малахов И. А., Савохин И. В., Сычева Г. А. О генезисе платинового оруденения в зональных массивах Платиноносного пояса Урала (на примере Нижне-Тагильского массива)	104
Бушев А. Г., Поленов Ю. А., Алеров Г. Д. Условия формирования эндогенных месторождений жадеита	115

Геология, прогнозирование, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых

Грязнов О. Н. Метасоматизм и рудообразование (Проблемы уральской геологии)	124
Бабенко В. В. Рудные мегаобласти и нелинейный характер металлогении в горной части Полярного Урала	133
Баранников А. Г. Система «коренной источник — россыпь» и прогнозно-поисковый комплекс	141
Петруха Л. М. Рудные столбы медноколчеданных месторождений	147
Княжин С. Л. Выявление локальных нефтегазоперспективных объектов в современном рельфе (на примере Вычегодско-Камского региона)	153

Разведочная геофизика

Редозубов А. А., Сысков С. С. Изучение анизотропии горных пород в рудной электроразведке	163
Козырин А. К., Минцев А. И. Каротаж рудных скважин с использованием колонны бурильных труб	171
Бондарев В. И., Крылатков С. М., Пущина Ж. В. Инженерная сейсморазведка и сейсмоакустика	180
Давыдов А. В. Способ опробования горных пород и руд по гамма-излучению	185

Гидрогеология и инженерная геология

Абатурова И. В., Афанасиади Э. И., Грязнов О. Н., Гуман О. М., Дубейков- ский С. Г., Новиков В. П., Палкин С. В., Парфенова Л. П. Проблемы гидрогео- логии, инженерной геологии и геэкологии при разведке и эксплуатации место- рождений твердых полезных ископаемых на Урале	189
Палкин С. В., Палкин С. С. К вопросу о разведке и эксплуатации место- рождений подземных вод на Урале	199
Тагильцев С. Н., Никитина И. А. Влияние напряженного состояния скальных массивов на гидрогеологические свойства тектонических нарушений	204

Памятные даты

Профессор А. К. Козырин	208
К 70-летию В. А. Прокина	208

Потери науки

Памяти Д. С. Штейнберга — учителя и ученого	210
---	-----

Информация

Уральский геологический музей Уральского горного института	211
Рефераты	212
Abstracts (English)	218

CONTENT

Introduction

Kozakov E. M., Pakhomov V. P., Ignatyeva M. N. Scientific Conceptions of Re-evaluation of Mineral Raw Material Base of Russian Federation

7

9

Problems of Methodology and Methods of Investigations

Alekseyev V. P., Kosikov V. N., Krivikhin S. V., Maksimov V. A., Rasulov A. T., Refat S. M., Russkly V. I. On Necessity of the Role Re-estimation of Genetic Investigations in Coal Geology	14
Vyatkin V. B. On the Problem of Information Evaluation of Indications in Forecast-Geological Investigations	21
Zoteev V. G., Zoteev O. V., Kosterova T. K. Processing Methods of Flasuring Mass Measurements with Computers	28
Sapozhnikov V. M. Computer Petrophysical Classification of Ore Containing Rocks on Well-Logging Diagrams	35
Serkov V. A. Automatic System of Results Interpretation in Ore Petrophysics	41
Oshkordin O. V. Complex Analysis of Complicated Geological Technical Conditions of Drilling	46

General, Historical and Regional Geology

Bogoyavlenskaya O. V., Lobanov Ye. Yu. Stromatoporites and Heliolitoidea of the Urals Paleozoic Basin	52
Gerozhankin V. T. Horizontal Earth's Crust Movements and Local Forecasting of Mineral Deposits	63
Dushin V. A. Paleovolcanic Forecasting Criteria of Late Reef and Early Paleozoic Endogenetic Mineralization of the Western Part of the Northern Urals	68
Antimov L. V. Reef Sedimentary-Rock Basin in the Southern Urals	75
Slobodchikov Ye. A. Composition and Genesis of Tasysskiy Circular Structure (Yuzhny Mutodzhary)	86
Kellman G. A., Lukin V. G. Diamonds in Gneiss Complex	92

Mineralogy, Petrography and Geochemistry

Ivanov O. K., Vlilsov V. A. Phlogopite Ultramafites in Concentric Zonal Dunite-Pyrosenite Massifs of the Urals Platinum Belt	95
Malakhov I. A., Savokhin I. V., Sycheva G. A. On Genesis of Platinum Mineralization in Zonal Massifs of the Platinum-Bearing Urals Belt	104
Bushev A. G., Polenov Yu. A., Ayerov G. D. Formation Conditions of Endogenous Jade Deposits	115

Geology, Forecasting, Search and Exploration of Mineral Deposits

Gryaznov O. N. Metasomatism and Ore Formation	124
Babenko V. V. Ore Megaregions and Non-Linear Character of Metallogeny in Mountains of the Polar Urals	133
Barannikov A. G. «Native Source-Placers» System and Forecasting-Search Complex	141
Petrusha L. M. Ore Columns of Copper Pyrite Deposits	147
Knyazhin S. L. Discovery of Local Oil-Gas Perspective Objects in Modern Relief (Vychegodsky-Kamsky Region as an example)	153

Exploration Geophysics

Redozubov A. A., Syskov S. S. Investigation of Anisotropy of Rocks in Ore Electrical Prospecting	163
Kozyrin A. K., Mintsev A. I. Well-Logging of Ore Bore Holes with the	

Use of Drill Pipe String	171
Bondarev V. I., Krylatkov S. M., Pushchina Zh. V. Engineering Seismic Prospecting and Seismic Acoustics	180
Davydov A. V. Methods of Rocks and Ores Testing on Gamma Emissions	185

Hydrogeology and Engineering Geology

Abaturova I. V., Afanasiadi E. I., Gryaznov O. N., Gusman O. M., Dubelkovsky S. G., Novikov V. P., Palkin S. V., Parfenova L. P. Problems of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology in Exploration and Exploitation of Solid Mineral Deposits in the Urals	189
Palkin S. V., Palkin S. S. A Contribution to the Exploration and Exploitation of Underground Waters Occurrences in the Urals	199
Tagiltsev S. N., Nikitina I. A. Influence of Rock Massifs Tension the Hydrogeological Properties of Tectonic Faults	204

Memorial Dates

Professor Kozyrin A. K. To the 70th jubilee of V. A. Prokin	208 208
--	------------

Losses of Science

To the memory of D. S. Steinberg — a teacher and a scientist	210
--	-----

Information

The Urals Geological Museum. The Urals School of Mines Abstracts (Russian)	211 212
Abstracts (English)	218

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уральский горный институт — старейший технический вуз региона, крупный центр горно-геологического высшего образования и науки России. За 75 лет активной деятельности в институте созданы научные школы по различным направлениям геологии, геофизики, горного дела и горной механики, подготовлено свыше 38 тысяч специалистов с высшим образованием, известных не только на Урале, в Российской Федерации, но и за их пределами.

Одной из важнейших сфер своей деятельности в первые же годы работы молодого вуза руководство Горного института считало публикацию результатов исследований. В 1917 г. был намечен обширный план изданий, включавший Научные труды Уральского горного института и журнал «Известия Уральского горного института». В связи с гражданской войной и частичной эвакуацией вуза во главе с ректором проф. П. П. Веймарном первый и единственный номер журнала (вып. 1) под его редакцией вышел в свет во Владивостоке в 1918 г.

Достижения уральской горно-геологической школы освещались в Трудах Свердловского горного института. За период с 1937 по 1976 гг. издано 132 выпуска Трудов (№ 2 — 133), в которых опубликованы результаты научных исследований преподавателей, сотрудников и студентов института. В 1971 г. в соответствии с Приказом Минвуза РСФСР институт перешел к изданию межвузовских научных тематических сборников. С 1971 по 1992 гг. выпущено 125 сборников. Они сыграли определенную положительную роль в пропаганде научных идей и результатов исследований, проводимых сотрудниками института. Однако в процессе издания тематических сборников выявился ряд недостатков и трудностей.

В соответствии с лицензией ЛР № 020256 на издательскую деятельность, выданной Министерством печати и массовой информации, существенно расширились права института в этой области.

С 1993 г. возобновляется издание журнала «Известия Уральского горного института», журнал призван публиковать научные работы преподавателей, сотрудников, докторантов, аспирантов и студентов института по всем направлениям фундаментальных и прикладных исследований кафедр по проблемам геологии, геофизики, горного дела и горной электромеханики. Результаты исследований должны охватывать полный цикл изучения минерального сырья — от геологии, прогнозирования, поисков и разведки полезных ископаемых до их разработки и обогащения, включая многогранные аспекты техники и технологии разведочного дела и горного производства.

Материалы «Известий» будут распределяться в три серии: Геология и геофизика, Горное дело и Горная электромеханика. Предполагается издавать ежегодно все три серии. Рубрикация серий гибкая, определяется содержанием поступающих материалов и должна охваты-

вать все направления научной деятельности коллектива института. Вместе с тем основные рубрики призваны отражать профилирующие научные направления работы кафедр.

Серия: ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА. Освещаются результаты научных исследований по общей, исторической и региональной геологии; минералогии, петрографии и геохимии; геологии, прогнозированию, поискам и разведке месторождений полезных ископаемых; гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии; разведочной геофизике; технике, технологии и организации геологоразведочных работ.

Серия: ГОРНОЕ ДЕЛО. Предполагается обсуждение способов и методов разработки месторождений полезных ископаемых; шахтного строительства, проходки и крепления горных выработок; разрушения горных пород; механики горных пород, маркшейдерии, геодезии; проблем экономики и организации горного производства; охраны труда; охраны окружающей среды.

Серия: ГОРНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. Рассматриваются современные проблемы автоматизации горно-технологических процессов; горных машин и комплексов; горной механики; электрификации горных предприятий и электропривода; обогащения полезных ископаемых; химии в горном деле.

Кроме основных рубрик, в выпусках всех серий предусмотрена публикация кратких сообщений, вопросов горно-геологического образования, историографии, критики, библиографии, хроники.

После 75-летнего перерыва журнал «Известия Уральского горного института» вновь выходит в свет, продолжая лучшие традиции уральской горно-геологической школы. Выпуск 2 серии: Геология и геофизика посвящен актуальным проблемам уральской геологической науки. Он предлагает специалистам обсудить научную концепцию переоценки минерально-сырьевой базы Российской Федерации, вопросы методологии и методики исследований, геологии структурно-вещественных комплексов рифей и палеозой Урала, минералогии и геохимии зональных базит-гипербазитовых массивов Платиноносного пояса Урала, проблему метасоматизма и рудообразования в уральской геологии, рассматривает нелинейный характер металлогении Полярного Урала, геологию ряда месторождений, возможности выявления локальных нефтегазоперспективных объектов Вычегодско-Камского региона; показана эффективность использования электрических, сейсмических, сейсмоакустических и радиометрических методов для решения конкретных геологических задач; охарактеризованы проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых и подземных вод на Урале.

Редакция журнала поздравляет коллектив института с этим знаменательным событием. Путь для широкого обсуждения результатов исследований открыт. Надеемся, что журнал будет полезен для специалистов не только Уральского региона.

Главная редакция

УДК 622.003.13

Е. М. Козаков, В. П. Пахомов, М. Н. Игнатьева

**НАУЧНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПЕРЕОЦЕНКИ
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Концепция оценки минерально-сырьевой базы в бывшем СССР сложилась в условиях планово-командной системы отраслевого управления народным хозяйством. Целесообразность разведки и освоения ресурсов недр по сей день определяется только технологическими и чисто экономическими параметрами, отражающими традиционный ведомственный подход — количеством и качеством запасов минерального сырья и экономикой его добычи и переработки, т. е. оценка минерально-сырьевой базы по своей сути является технико-экономической. Масштабы освоения минеральных ресурсов достигли таких размеров, а социальные и экологические последствия в ряде случаев столь негативны, что необходимость радикального переосмысления этой концепции не требует доказательств: оценка минерально-сырьевой базы должна стать социально-экономической, а технологические и технико-экономические показатели — не более чем исходными параметрами.

Целью переоценки минерально-сырьевой базы должно быть установление на основе широкого социально-экономического подхода объективной ценности минеральных ресурсов, соответствующей современной политической и экономической реальности с учетом интеграции нашей экономики в мировое рыночное хозяйство. Достижение указанной цели требует решения следующих задач.

1. Создание благоприятных условий для эффективной интеграции горнодобывающей промышленности России в мировую хозяйственную систему.

2. Трансформация экономической оценки из производственно-отраслевой в территориально-производственную.

3. Учет экологических факторов.

4. Учет социальных факторов.

5. Значение фактора времени.

6. Комплексная социально-экономическая оценка разведки и освоения недр на базе системного подхода.

7. Формирование базы данных для моделирования рационального освоения недр.

При оценке минерально-сырьевой базы необходимо реализовать два условия, которые должны способствовать экономически целесообразной интеграции горнодобывающей промышленности России в мировую хозяйственную систему: первое — денежную оценку минеральных ресурсов производстви в мировых ценах; второе — создать надежную информационную базу для внешнеэкономических связей в освоении ресурсов недр.

Распространенная понятие стоимостная оценка минеральных ресур-

сов в действующих или «перспективных» оптовых ценах, равно как и в «замыкающих затратах», вероятно, имела смысля в изолированной в целом от мирового рынка жестко управляемой советской экономике. В современных условиях нет никакой необходимости в специальном конструировании российских перспективных стоимостных показателей на разведанное минеральное сырье, отражающих так называемые ожидаемые «общественно необходимые затраты труда» или другие предельно догматизированные категории. Принимая во внимание колеблемость мировых цен, возможно прогнозирование диапазона их значений с учетом спроса и предложения на мировом рынке и его сегментации для определенных временных интервалов (с учетом результатов соответствующих зарубежных исследований).

Под надежной информационной базой эффективных внешнеэкономических связей при освоении ресурсов недр подразумевается: а) информация о мировой минерально-сырьевой базе; б) многоаспектная информация, в наибольшей мере характеризующая данный минеральный ресурс; в) информация о неиспользуемых, нетрадиционных ресурсах (техногенные месторождения, пустоты и т. п.)

Под многоаспектной информацией подразумевается, что имеющаяся ныне технико-экономическая информация, ограниченная технологическим аспектом освоения сырья, должна быть дополнена информацией о социальной и экологической ситуациях в регионах, где разведаны минеральные ресурсы.

При переоценке минерально-сырьевой базы специальный раздел должен быть посвящен техногенным месторождениям, их качественной и количественной характеристикам, оценке экономической эффективности их вовлечения в эксплуатацию с участием зарубежных фирм на базе современных (с точки зрения как отечественного, так и международного опыта) технологий. Требуют также изучения возможности рационального использования пустот, образующихся при отработке месторождений полезных ископаемых, для размещения различного рода хранилищ, подземных коммуникаций, захоронения биологически вредных отходов производства и т. п.

Трансформация экономической оценки минерально-сырьевой базы России из отраслевой, являющейся сугубо производственной, в территориально-производственную, ориентированную на приоритетный учет интересов населения, проживающего в районе месторождения, требует, чтобы месторождение рассматривалось не изолированно, а в составе социально-промышленного комплекса горной специализации (СПКГ). Данные о возможностях формирования СПКГ должны пополняться и углубляться по мере геолого-экономического изучения месторождения в соответствии со стадийностью оценочных работ. Для разведенных месторождений при переоценке минерально-сырьевой базы необходимо предусмотреть специальный комплекс дополнительных исследований социального и экологического характера, в которых будут учтены не только горизонтальные технологические и социально-экономические связи между разноотраслевыми предприятиями, расположенными в данном регионе, но, главным образом, между предприятием и территорией.

Условием формирования СПКГ при переоценке минерально-сырьевой базы должно стать геолого-экономическое районирование, представляющее собой зонирование территории региона, исходя из наличия территориальных сочетаний минеральных ресурсов.

При рассмотрении возможности формирования СПКГ на базе вновь разведенных месторождений должна быть произведена оценка исходного состояния региона по степени его уникальности, результатом чего является зонирование территорий на три вида: а) регионы, не доступные для хозяйственного использования; б) частично доступные (с чет-

ко ограниченным режимом хозяйственного освоения); в) доступные для хозяйственного освоения. Задача заключается в поддержании социального и экологического равновесия в СПКГ, в выявлении территорий, подлежащих частичному или полному взятию из хозяйственного оборота.

При исследовании состояния СПКГ в освоенных регионах с нарушенной социальной и экологической системой эти регионы должны классифицироваться на неблагоприятные, буферные и благоприятные для дальнейшего развития промышленного производства.

Анализ экологической ситуации должен быть комплексным, предполагающим оценку состояния окружающей среды в части изменения всех ее природных компонентов. При оценке загрязнения обязательно учету подлежит антропогенная составляющая смежных территорий, а также плотность населения.

При переоценке минерально-сырьевой базы необходимо не только уяснить фактически сложившуюся экологическую ситуацию, но и прогнозировать экологические последствия добычи и переработки минерального сырья. Должна быть обоснована применительно к природной среде система факторов, отражающих процесс «воздействие — восприятие — последствие». Этот процесс в принципе может быть formalизован, а наиболее значимые последствия — типизированы.

В качестве источников воздействия обычно рассматриваются технологические объекты горно-обогатительного предприятия (карьеры, шахты, обогатительные и агломерационные фабрики вместе с их производственной инфраструктурой, а также бытовой и рекреационной деятельностью населения). К этому следует добавить экспертную оценку экологического состояния в местах ожидаемого потребления подготовленного минерального сырья.

При оценке последствий воздействия горнодобывающего производства на окружающую среду необходимо использовать экологические ограничители. Действующие санитарные нормы, установленные по пороговым значениям опасности воздействия на здоровье населения, не могут обеспечить сохранение природной среды, так как чувствительность восприятия у наиболее уязвимых природных компонентов обычно выше, чем у человека. Сохранение природных объектов связано с наличием ПДЭН — норм предельно-допустимых антропогенных нагрузок на экосистемы, превышение которых приводит к необратимой детриации или нежелательной трансформации экосистем. Экологически допустимой является ситуация, когда фактическая антропогенная нагрузка не превышает ПДЭН, а также санитарных норм ПДК, ПДВ или ПДС.

Учет социальных факторов при переоценке минерально-сырьевой базы предполагает оценку последствий освоения недр по следующим направлениям: а) демографическая ситуация — половозрастная структура, рождаемость, смертность, численность семьи, средняя продолжительность жизни, миграционные показатели; б) условия и уровень жизни — обеспеченность социальной инфраструктурой (жилье, медицинское обслуживание, образование и воспитание, торговля и общественное питание, транспорт, связь, бытовое обслуживание), средний доход на душу населения, структура личного потребления и т. д.; в) трудовая деятельность — показатели занятости населения (полнота, структура, источники трудовых ресурсов), текучесть рабочей силы, квалификационный состав и др.

Социальные факторы должны рассматриваться в связи с цикличностью разработки переоцениваемых месторождений, т. е. с учетом периода освоения месторождения, стабильной добычи полезного ископаемого и периода затухания.

В результате полноценного учета социальных факторов должна быть в полной мере учтена система мер социального характера, обеспечивающих надлежащее качество жизни населения, причастного к освоению недр, и определен ожидаемый экономический ущерб, обусловленный негативными последствиями разработки месторождений.

Особое внимание при переоценке минерально-сырьевой базы должно быть уделено проблеме учета фактора времени. Полагаем, что в данном случае учет фактора времени должен состоять в определении реальных сроков освоения разведанных месторождений с учетом социальных и экологических факторов, что является сложнейшей задачей. Что же касается учета фактора времени в экономических расчетах методом дисконтирования, то от данного метода при оценке следует воздержаться, поскольку не выработаны апробированные на практике четкие методические положения, связанные с использованием метода дисконтирования в геолого-экономических обоснованиях, не определены сроки, в течение которых дисконтирование правомерно; не обоснована величина коэффициента приведения и динамика его изменения во времени; не определены методы учета фактора времени и величина дисконтиного норматива применительно к эксплуатационным расходам и прибыли, не обосновано понятие «момента», к которому следует приводить разновременные затраты.

Комплексная социально-экономическая оценка предполагает: а) использование в геолого-экономических обоснованиях категории «социально-экономическая эффективность»; б) поликритериальность; в) определение особенностей количественных оценок по принятым критериям; г) выработку процедуры согласования интересов при переоценке минерально-сырьевой базы.

Сложившиеся формы и методы оценки минерально-сырьевой базы не способны обеспечить разрешение противоречий между социальными приоритетами и хозяйственной деятельностью горнодобывающей промышленности. Эти противоречия могут быть разрешены только при формировании новых, значительно более действенных стимулов экономической, социальной, экологической, нравственной активности человека. Одним из таких стимулов на стадии формирования минерально-сырьевой базы может стать радикальное изменение процедуры обоснования разведки и освоения недр за счет расширения социально-экономического анализа действительности и всесторонней объективной оценки последствий разработки месторождений, т. е. обоснование из экономического должно превратиться в социально-экономическое, составной частью которого является экономический аспект. Иными словами, если категория «экономическая эффективность» является количественной, сутиком утилитарной, то «социально-экономическая эффективность» — это категория качественно-количественная, интегрирующая весь комплекс результатов хозяйствования, получаемых как в производственной и непроизводственной сферах, так и в окружающей природной и социальной среде.

Система критерияльных показателей при этом классифицируется по характеру оценки последствий в три группы: экологические — отражающие характер изменения природной среды (уровень загрязнения, снижение продуктивности, изменение видового состава и т. д.); социальные — позволяющие оценить влияние горнодобывающего производства на социальную сферу (уровень рождаемости, заболеваемости, смертности, средняя продолжительность жизни, обеспеченность социальной инфраструктурой и др.); экономические — характеризующие эффективность горнодобывающего производства и конкурентоспособность добываемого минерального сырья (капиталоемкость, себестоимость, прибыль, рентабельность, окупаемость, приведенные затраты).

и т. д.). Необходимо подчеркнуть, что ряд нарушений в социальной и экологической подсистемах не получают денежной оценки и могут быть в лучшем случае зафиксированы только в перечне натуральных показателей. Совокупность трех групп критеринальных показателей может служить базой для принятия компромиссного решения между всеми заинтересованными сторонами, причастными к разработке месторождения.

Принимая во внимание современную социально-политическую ситуацию, когда в вопросах разведки и освоения недр серьезно расширяются права территорий на областном и национально-республиканском уровне, при переоценке минерально-сырьевой базы необходимо разработать процедуру согласования интересов сторон, причастных на всех уровнях управления к эксплуатации месторождений: государства (России), национальной республики, области, СПКГ, геологоразведочной организации, горнодобывающего предприятия. Для решения этой задачи к выполнению работы должны быть привлечены, в частности, социологи и юристы.

Переоценка минерально-сырьевой базы должна включать формирование банка данных для социально-экономического моделирования рационального освоения недр.

При работе над банком данных целесообразно руководствоваться следующим основным положением: экономико-математической основой переоценки минерально-сырьевой базы является модель СПКГ.

При переоценке минерально-сырьевой базы в контурах моделируемого СПКГ необходимо сместить акценты. Если в сложившейся методологии домinantой оценки минеральных ресурсов является удовлетворение народнохозяйственной потребности в соответствующем виде сырья, то в современных условиях основополагающей целью эксплуатации месторождений должно стать обеспечение нормальных условий жизни на территории СПКГ при сохранении производственных целевых установок.

МЕТОД ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗОЛЬНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ ПО ИХ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ

Авторы — Возжеников Г. С., Возжеников Е. Г.

Метод основан на устойчивом поведении массовых долей урана, тория и калия в составе зольных остатков энергетических углей и заключается в регистрации и интегральной гамма-активности товарных углей в каждом из вагонов, перемещающихся либо спиритулиционного детектора, экранированного со всех сторон, кроме стороны, обращенной к стенке движущегося вагона.

При этом связь между аппаратурным откликом и зольностью устанавливается через основные параметры вариационных кривых. Метод испытан с положительным результатом в условиях Рефтинской тепловой ГРЭС.

Метод позволяет контролировать качество энергетических углей дистанционным образом без отбора и обработки специальных проб.

ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.3.051 : 552.5(57)

*В. П. Алексеев, В. Н. Кошевая, С. В. Кривихин, В. А. Максимов,
А. Т. Расулов, С. М. Рефат, В. И. Русский*

К НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕОЦЕНКИ РОЛI ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УГОЛЬНОЙ ГЕОЛОГИИ

Геология как наука о составе, строении и истории развития Земли к настоящему времени объединяет обширный спектр различных по объектам и методам исследований направлений, которые нередко следует рассматривать уже как самостоятельные отрасли знания. Классификации или перечни этих направлений предлагались многими исследователями — в их основе может лежать разделение по масштабу или свойствам исследуемых объектов, способам получения информации и др. В силу неотчетливости исходных посылок, обусловленной многофакторностью и невоспроизводимостью геологических процессов, общепринятой классификации в настоящее время не существует. Для примера укажем, что не вызывает сомнений необходимость и целесообразность выделения в ранге самостоятельного направления минералогии, но продолжает оспариваться правомерность такого же подхода относительно математической геологии. Попробуем представить структуру геологического знания с одной из возможных позиций (рис. 1). В общей, нестрогой, форме по всему комплексу изучаемых объектов, используемых приемов и решаемых задач можно говорить о трех уровнях геологических работ: теоретической (концептуальной) геологии — I, геологоразведке (в практическом понимании — собственно геологии) — II и изучении геологических объектов при их эксплуатации — III. Понятно, что эти три уровня взаимопроникают и дополняют друг друга, как и показано на рис. 1. Если связи между уровнями I—II и II—III в особых комментариях не нуждаются, то относительно зависимости I—III укажем, что мало в каких других отраслях знания так верно положение о практике как критерии истины (особенно учитывая практическую полную невоспроизводимость геологических процессов). Добавим также, что известные геологические дисциплины могут как практически нацело «укладываться» в какой-либо один из уровней (например, горнопромышленная геология — в уровень III), так и охватывать все эти уровни. Например, геотектоника для уровня I наиболее ярко реализуется в виде геодинамических концепций, уровня II — знания и изучения дизъюнктивных и пликативных дислокаций с позиций поисковых и разведочных, а уровня III — эксплуатационных работ.

В русле высказываемых суждений особое место занимают отрасли геологического знания, выделяемые по тому или иному полезному ископаемому, на изучение которого они нацелены в первую очередь. Чаще всего речь здесь идет о каком-то наборе полезных ископаемых: например, геологии рудных месторождений. Но в двух случаях такое выделение имеет и глубокий дополнительный смысл. Это относится, во-первых, к нефтегазовой геологии, где полезное ископаемое обычно находится в иной фазе, нежели вмещающие его породы (сравним гидрогеологию), а во-вторых, — к угольной геологии. В последнем случае полезное ископаемое (уголь) является по своей природе принципиально отличным от вмещающих его пород. Именно поэтому даже при занимаемом им объеме иногда менее 1%, а также в случае отсутствия в тех или иных частях разреза признание за угольной геологией права на самостоятельное осуществление практически не оспаривается.

Постулируя, что угольная геология охватывает все три уровня геологического знания, как показано на рис. 1, отметим при этом, что ею внесен существенный вклад в развитие каждого из них. Перечислим некоторые примеры для областей, выделенных на рис. I и обозначенных арабскими цифрами (детальный разбор их существа и значимости в наши задачи не входит). Для уровня I (область 1) — это концепция поясов и узлов угленакопления П. И. Степанова; уровня II (область 2) — учение о цикличности в геологических процессах и реализуемых ими толщах (Дж. Уэллер, Ю. А. Жемчужников, Г. А. Иванов, П. Дафф и мн. др.); уровня III (область 3) — исследования в области морфологии угольных пластов (В. Н. Волков, Т. А. Ягубляц и др.). Такие примеры можно продолжить. Собственно, даже становление столь обширных областей геологического знания, как геотектоника и литология, во многом обязано изучению угленосных толщ, а стало быть, тесно связано с развитием угольной геологии: достаточно упомянуть эталонные исследования Донбасса, проведенные под руководством «отца русских угольщиков» Л. И. Лутугина.

Перейдем к рассмотрению (также с общих, нестрогих позиций) процесса получения геологического знания. Исходя из сложившихся реалий, можно говорить о трех довольно самостоятельных, но последовательных и взаимопроникающих методических аспектах исследований. Вслед за Д. А. Зенковым [3], с некоторыми изменениями, назовем их: метрический, логический и генетический. Не вдаваясь в детальный разбор самих понятий, отметим, что для первого речь идет в основном о непосредственных наблюдениях (как визуальных, так и дистанционных, реализуемых в соответствующих шкалах и тем или иным образом поддающихся измерению или кодированию). В геологии это так называемые «полевые» и лабораторные работы. Логические исследования предусматривают определенный набор специфических знаний и умений; в геологии — это построение разрезов, карт, составление пояснительных записок — иначе, «камеральный» этап. Как правило, этими двумя этапами ограничиваются обычные геологические работы, в т. ч. в угольной геологии. Определенная простота этих подходов, часто определяемая как «объективность», привела к декларации приоритетности

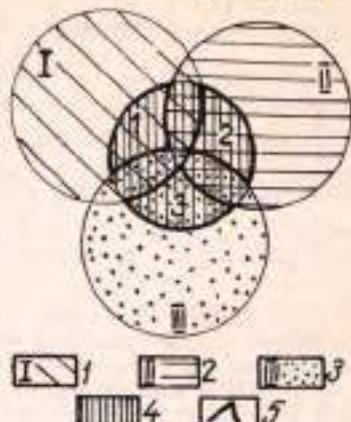


Рис. 1. Структура геологического знания и место в ней угольной геологии.

Обозначения: 1—2 — уровни геологических исследований; 4 — область угольной геологии; 5 — область сопряжения угольной геологии с выделенными уровнями.

Пояснения в тексте

сматривающим расшифровку условий протекания процессов, в т. ч. на самых ранних стадиях исследований. Схематически изложенное изображено в левой части рис. 2: базируясь на теоретических представлениях, практическая геология довольствуется обработкой наблюдений определенным набором методов, не востребуя знаний о генезисе отложений.

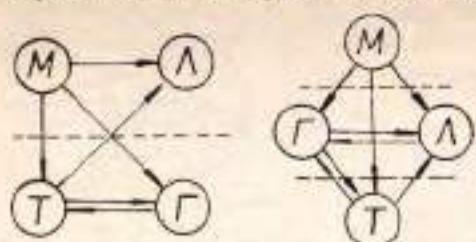


Рис. 2. Схема получения геологического знания. Слева — реальная, справа — желающая.

М — непосредственные наблюдение (метрический этап); Л — империко-логические выводы; Г — генетические (причинно-следственные) исследования; Т — теоретическая (интегральная) база.

Пояснения в тексте

Еще более недопустимо прямое противопоставление структурного или формационного подхода генетическому — на неудачность такой постановки вопроса указывали многие, в том числе М. П. Покровский [6].

Такая ситуация не должна нас устраивать, особенно потому, что в угольной геологии, как, пожалуй, ни в какой другой, генетические исследования достигли высокого уровня и разрешающей способности. Этому в немалой степени способствовало изначальное несомненное понимание угля как продукта деятельности болот,

формировавшихся исключительно в гумидном климате и специфических ландшафтных обстановках. В современном понимании генетические исследования в угольной геологии начали развиваться в 30-х годах и широкое развитие получили, начиная с конца 40-х годов. Значительными вехами на пути их развития явились известные работы по Донбассу [2] и Южной Сибири [7]. В перечисленных работах сформирована последовательная и четкая система генетических исследований в рамках литолого-фауниального — фациально-циклического — формационного анализов, охватывающих все стороны изучения угленосных отложений. Многие направления этой методики (например, изучение цикличности — см. выше) взяты на вооружение исследователями иных по составу и условиям формирования отложений. В то же время, несмотря на высокую эффективность генетических исследований, их использование в практической угольной геологии эпизодично и не получило должного широкого развития. Обычно эта невостребованность объясняется «субъективностью» работ, имеющих изначально генетический характер. В какой-то мере такое объяснение оправдано многофакторностью причин, определяющих формирование отложений, а также ссылками на невоспроизводимость геологических процессов. Однако возникающие осложнения преодолимы: как статистической обработкой результатов с применением ЭВМ, так и пониманием правомерности перенесения наших знаний о современных процессах осадконакопления на реконструкции прошлых эпох, что убедительно показали итоги Всеобщей литологической дискуссии (1952) и последующие работы Н. М. Страхова.

Исходя из перечисленного, намного более предпочтительной выглядит схема исследований, изображенная в правой части рис. 2. Опираясь на теоретическую базу и основываясь на конкретной, исходной информации, логическое и генетическое знания должны составлять необходимую основу геологических работ (уровень II на рис. 1) как одно целое и взаимодополняемое. Постараемся это обосновать.

В Уральском горном институте исследования угленосных отложений выполняются на кафедре геологии месторождений полезных ископа-

мых в течение 40 лет, в последние годы — в тесном содружестве с учеными Института геологии и геохимии УрО и ГИН РАН, других организаций. Их проведение осуществляется параллельно с подготовкой инженеров-геологов в области поисков и разведки месторождений твердых горючих полезных ископаемых (УГИ — единственный вуз России, осуществляющий такую подготовку по специальной учебной программе). Начиная с 60-х годов работы сконцентрированы в основном на объектах раннемезозойской эпохи угленакопления, характеризующейся, в частности, четкой возрастной обособленностью и узким возрастным диапазоном (верхний триас — средняя юра), что позволило сосредоточиться на изучении вопроса генезиса углеводородных отложений вне зависимости от проблем эволюции. Детально, в течение многих лет каждый, исследовались Северо-Сосьвинский и Серовский районы восточного склона Урала, ряд депрессий Тургайского бассейна, Улугхемский бассейн, Алдано-Чульманский район Южно-Якутского бассейна (отложения последнего постепенно переходят в позднемезозойскую эпоху). Небольшие по объему работы проведены по целому ряду других объектов, включая Майкюбенский и Канско-Ачинский бассейны.

При работах на всех объектах четко выдерживалась последовательность исследований: изучение непосредственно наблюдаемых разрезов (почти исключительно в виде керна скважин) с выделением слоев и определением их генезиса — построение колонок с установлением закономерностей в чередовании слоев (цикличности) — корреляция отложений с построением разрезов различного вида, масштаба и детальности — составление литолого-фашиальных и палеогеографических карт по отдельным горизонтам — общая характеристика формаций или их частей с элементами прогноза угленосности. Широко использовались результаты изучения вещественного состава отложений: минералогопетрографические, гранулометрический, углепетрографический, др. виды анализов; геохимические исследования и пр. На всех этапах работ широко применялся аппарат статистических методов обработки исходных данных, включающий: предварительное ранжирование и кодировку наблюдаемых и измеряемых признаков; статистическую обработку массивов данных; оценку корреляционных зависимостей между признаками; факторный и кластер-анализы. Применялся также аппарат изучения марковских процессов. Создан специальный пакет программ для ПЭВМ «Электроника-85» (БЕИСИК), позволяющий на каждом из перечисленных этапов выводить на печать результаты расчетов.

Результаты работ опубликованы в многочисленных статьях, научно-исследовательских отчетах, докладывались на многих совещаниях. Основные итоги исследований освещены в серии препринтов, последовательно раскрывающих методику работ, и полученные результаты* в сжатом виде приведены в работе [1].

Остановимся лишь на отдельных примерах, показывающих значимость, необходимость и эффективность генетических исследований.

1. В практике геологоразведочных работ при документации исходного материала указывается стандартный набор признаков, характеризующий выделяемые слои: размерность слагающих породу частиц

* Методика литолого-фашиальных исследований углеводородных отложений. — Свердловск, 1986.— 63 с.— (Препринт / УНЦ АН СССР); Цикличность триас-юрских углеводородных отложений азиатской части СССР.— Свердловск, 1987.— 55 с.— (Препринт / УрО АН СССР); Методика корреляции углеводородных отложений.— Свердловск, 1989.— 59 с.— (Препринт / УрО АН СССР); Палеогеография триас-юрских углеводородных отложений азиатской части СССР.— Свердловск, 1990.— 62 с.— (Препринт / УрО АН СССР); Внутриконтинентальные раннемезозойские углеводородные формации азиатской части СССР.— Свердловск, 1991.— 71 с.— (Препринт / УрО АН СССР); Угольные пласты триас-юрских отложений азиатской части СНГ.— Свердловск, 1992.— 75 с.— (Препринт / УрО РАН).

(гранулометрический состав), текстура, наличие и характер органического материала (практически исключительно растительного происхождения), другие признаки. Однако при последующей обработке информации используется практически всегда только один показатель — усредненный гранулометрический состав частиц. Это предельно обедняет выполняемые работы, переводит в разряд невостребуемой огромное количество исходной, с трудом добываемой информации, и, наконец, является попросту недостаточным для достижения, к примеру, одной из основных целей геологоразведочных работ — корреляции отложений.

Результаты расчета факторных нагрузок (приведены только первые факторы) для отдельных объектов

Признак и направленность его изменения (кодировка)	Колич. состояний	Объекты			
		1	2	3	4
Гранулометрический состав (увеличение размерности зерен)	12	0,94	0,73	0,90	0,92
Сортированность (улучшение)	8	-0,50	-0,84	-0,78	-0,80
Текстура (увеличение интенсивности гидродинамики)	8	0,89	0,83	0,85	0,82
Органический (растительный) материал:					
— увеличение фрагментарности	6	-0,36	-0,45	-0,47	-0,35
— повышение количества	8	-0,86	-0,45	-0,30	-0,61
Вес фактора		46,85	46,68	49,93	51,64

Примечание. Объекты: 1 — Улугхемский бассейн, I_0 , скв. 175, 606 слоев; 2 — Тутрайский бассейн, J_0 , скв. 1069, 389 слоев; 3 — Буланашский район, T_0 , скв. 2869, 207 слоев; 4 (контрольный) — Трошковское месторождение, C_0 , скв. 2894, 78 слоев.

Проанализируем правомерность высказанных утверждений. В своих исследованиях мы использовали кодирование исходной информации, получаемой при документации керна скважин, в определенном порядке ранжируя те или иные описываемые признаки (например: 1 — аргиллит, 2 — алевролит, 3 — песчаник; 1 — горизонтальная, 2 — пологоволнистая, 3 — косо-волнистая слоистость и т. д.). С помощью несложных расчетов определялись наличие, характер и теснота связей между признаками, строилась корреляционная матрица, а на ее базе проводился факторный анализ, в результате которого вычислялись независимые безразмерные величины (факторы), определяющие изменчивость (дисперсию) всей исходной системы. В таблице приведены результаты факторного анализа (значения только первого фактора) для трех скважин, пробуренных на продуктивных площадях раннемезозойских угленосных формаций, и для сравнения — по одной скважине, вскрывшей раннекаменноугольные отложения (Трошковское месторождение). Приводимые данные свидетельствуют, что первый фактор включает 1/2 общей дисперсии системы и по вкладу признаков может быть довольно уверенно интерпретирован как основной седиментологический или гидродинамический режим осадконакопления, обусловленный общими условиями переноса и осаждения исходного терригенного материала. Значительная обусловленность фактора непосредственно размерностью частиц (первый признак) в определенной мере подтверждает правильность и необходимость широкого использования последнего. Но в то же время большое, а иногда и большее (!) участие в формировании данного ведущего фактора других признаков (прежде всего, текстуры), а также с учетом того, что другую 1/2 изменчивости системы представ-

дляют иные факторы, сформированные преимущественно и иными признаками, приходится констатировать, что замена комплекса исходных признаков одним из них, а именно: гранулометрическим составом, явно неоправдана.

Комплексной интерпретации всего набора исходных признаков наилучшим образом удовлетворяет литолого-фациональный анализ, при котором уже в начальной стадии работ определяется генезис того или иного слоя, впоследствии уточняемый. Добавим к тому же, что при генетических исследованиях достаточно уверенно устанавливается 15—20 распространенных и 10—15 менее распространенных типов пород, вместо обычно выделяемых 5—7 гранулометрических — уже это показывает высокую вариантность последующих исследований. Мы позволим себе не останавливаться на сущности и методах литолого-фациональных исследований — это изложено в работах [2, 7] и многих других, а для изучаемых нами отложений — в специальном препринте (см. ссылку на стр. 17), упомянем только новую интересную сводку [5]. Кроме хорошо разработанных, преимущественно понятийных, основ методики, обработка исходных данных хорошо помогают простейшие статистические методы — на одном из примеров мы и проиллюстрировали данный тезис. Все это позволяет судить о необходимости значительно более широкого применения в практике основ генетических исследований.

2. Один из основных этапов обработки геологической информации — это корреляция отложений с составлением разрезов того или иного масштаба, детальности, назначения и др. В угольной геологии имеется уникальная сводка по данному вопросу, оценивающая применяемые методы сопоставления отложений и в качестве рекомендации предлагающая использовать комплексные методы корреляции, к которым, в частности, отнесен фациально-циклический анализ [4]. Однако на практике в угольной геологии преобладает так называемый структурно-геометрический метод увязки, при котором главное внимание уделяется сравнению угольных пластов, с учетом их мощности, строения, мощности между пластов. В ряде случаев учитываются углы падения пород, иногда — литологические особенности отложений. Такой способ увязки в общем достаточен на поздних стадиях работ (детальная разведка, доразведка), особенно при наличии выдержаных пластов угля или каких-то других условий (сверхмощные угольные пласты, хорошо распознаваемые маркирующие горизонты). Для толщ же со слабой выдержанностью, неустойчивым характером отложений этот метод не может дать однозначного результата, в особенности на начальных этапах изучения объектов. Схематично изобразим это на рис. 3, где одновременно показаны подходы и к способам отображения информации. Так, в силу специфики угленосных отложений обычные, т. е. искаженные разрезы с одинаковыми вертикальными и горизонтальными масштабами (см. рис. 3, а) попросту не позволяют провести корреляцию из-за несопоставимости вертикальных и горизонтальных расстояний. Применяемое на практике искажение масштабов (см. рис. 3, б — в данном случае как 1:10) в определенной мере упрощает задачу, однако вносит искажение в углы залегания отложений и в ряде случаев не может дать однозначный ответ. Лучше всего пользоваться разрезами, называемыми «нормальными», которые отстраняются от некоторой «нулевой линии» (см. рис. 3, в). За последнюю принимается наиболее четкий, ярко выраженный и хорошо распознаваемый горизонт — один из угольных пластов, контакт между литологическими комплексами пород, геофизический репер и др. Увязка отложений в данном случае становится и легче, и доказательнее, может дополняться отдельными фрагментами, «ареаками» (см. рис. 3, г).



Рис. 3. Схематические примеры корреляции отложений и составления геологических разрезов.

Обозначения: 1 — угольные пласты и их условные номера; 2 — возможные варианты сопоставления пластов 1, 2, 3 на рис. а, б; 3 — «шлаковый» горизонт; 4 — почва угляного пласта (корнеевые остатки).

Пояснения в тексте.

рамки статьи, то в отношении второго укажем, что именно генетические сведения позволяют по чередованию типов отложений (фаций) установить закономерность в их повторяемости (цикличность); перейти к увязке комплексов отложений — литоциклов; а затем, с учетом других признаков (включая геофизические), — к однозначной корреляции отложений практически на любой стадии работ. Методика этих исследований весьма детально описана в ряде разработок [2, 4, 6], в том числе и в наших [1]; см. списку на стр. 17. Остается добавить, что благодаря именно ее применению удается добиться рациональной синтаксики и индексации угольных пластов, что весьма немаловажно, и успешно выполнено в Донбассе, Печорском и др. бассейнах; с нашим участием — в Улугхемском бассейне, и, к сожалению, до сих пор не сделано в Кузбассе.

3. В предыдущих пунктах мы показали, как генетические исследования могут существенно дополнить, уточнить и усилить применяемые в практике углеразведочных работ методы обработки исходной информации. Однако существуют целые области, где они имеют самостоятельное значение, и где значительные — в разных, в том числе в практическом, отношениях результаты могут быть достигнуты только такими, изначально генетическими исследованиями. В качестве примера укажем на палеогеографические реконструкции, позволяющие выделить благоприятные и, наоборот, неблагоприятные для торфонакопления палеоландшафты, проследить их эволюцию, заметить прогнозные площади для постановки той или иной стадии поисково-разведочных ра-

бот. Кроме того, только знание генезиса отложений, опирающееся на обширные фактические данные, позволило, в частности, нам установить общие закономерности в формировании раннемезозойских угленосных формаций и в том числе предложить сводную модель их строения [1]. В наиболее полном виде она представлена тремя частями, соответствующими подформациям (в отдельных случаях — самостоятельным формациям): инициальной, пролювиально-озерной, безугольной; основной, полифациальной, направленно изменяющейся, угленосной; финальной, от пролювиально-аллювиальной до пестроцветной, обычно безугольной. С этой моделью соотносится подавляющее большинство раннемезозойских угленосных формаций, независимо от истории геологического развития территорий, на которых они расположены.

Подводя итоги, укажем, что мы привели только небольшую часть аргументов в пользу широкого применения генетических исследований на всех этапах углеразведочных работ, что позволяет утверждать необходимость переоценки их значимости, как это и указано на рис. 2. Остается ответить на вопрос, кто будет применять их на практике. Ответов предполагается два: 1) привлечение к выполнению подобных работ специалистов на договорной основе, в роли которых, в частности, в течение многих лет выступают авторы данной статьи и 2) проведение таких исследований теми геологоразведочными организациями, которые осуществляют углеразведочные работы. По-видимому, наиболее целесообразно совмещение обоих этих путей, с организацией при крупных экспедициях или объединениях специальных ячеек (отрядов, лабораторий), затраты на содержание которых быстро окупятся качеством получаемой информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев В. П. Внутриконтинентальные раннемезозойские угленосные отложения зонатской части СССР (состав, строение и условия образования): Автореф. дис. к. д-ра геол.-минерал. наук.—Л., 1990.—32 с.
2. Жемчужников Ю. А. и др. Строение и условия накопления основных угленосных свит в угольных пластах среднего карбона Донецкого бассейна.—М.: Изд-во АН СССР.—Ч. 1, 1959.—331 с.; Ч. 2, 1960.—346 с.
3. Зенков Д. А. Морфологический анализ оруденения с точки зрения разведки // Материалы по методике разведки полезных ископаемых.—М.: Госгеолтехиздат, 1962.—С. 97—104.
4. Методы корреляции угленосных толщ и синонимики угольных пластов.—Л.: Наука, 1968.—381 с.
5. Обстановки осадконакопления и фауны / Под ред. Х. Рединга.—М.: Мир, 1990.—Т. 1.—352 с.; Т. 2.—384 с.
6. Покровский М. П. О «генетическом» и «морфологическом» подходах в изучении геологических объектов // Философские вопросы геологии: Сб. науч. тр. СГИ.—1972.—Вып. 88 (3).—С. 16—33.
7. Тимофеев П. П. Юрская угленосная формация Южной Сибири и условия ее образования.—М.: Наука, 1979.—204 с.

УДК 550.8/519

В. Б. Вяткин

К ВОПРОСУ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ ПРИЗНАКОВ ПРИ ПРОГНОЗНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Достоверность прогнозно-геологических исследований, проводимых с целью количественной оценки перспектив рудоносности территорий, в значительной степени зависит от того, каким образом определяется

информативность признаков относительно рудных объектов, рассматриваемых в качестве эталонных. Так как информативные признаки пространственно взаимосвязаны с эталонными рудными объектами, являются их отражающими знаками и содержат о них определенное количество информации, то для количественного определения информативности часто предлагается использовать математические выражения, представляющие собой производные формулы от информационной меры Шеннона [2, 5, 11, 12], в оригинале имеющей вид:

$$I_w = \sum_{i=1}^N P_i \log_2 \frac{1}{P_i}, \quad (1)$$

где I_w — количество информации, получаемое при наблюдении некоторой случайной дискретной величины, имеющей N значений (состояний), реализуемых с вероятностью P_i . При этом практически не принимается во внимание тот факт, что теория информации в версии Шеннона, изначально предназначенная для решения задач приема и передачи информации по техническим каналам связи, не имеет корректного распространения на область естествознания, а также не дает ответа на вопрос, что следует понимать под термином «информация» [1, 8, 13].

Для качественного разрешения наблюдаемого противоречия проведем анализ методики определения количества информации, содержащейся в признаках относительно эталонных рудных объектов, длительное время являющейся парадигмой в информационном подходе к количественной оценке перспектив рудоносности территорий. Сущность этой методики наглядно выражается посредством следующей формулы [11]:

$$I(Y; X_{ij}) = \log_2 \frac{\text{вероятность значения признака на рудных объектах}}{\text{вероятность значения признака на исследуемой территории}}, \quad (2)$$

где $I(Y; X_{ij})$ — количество информации о наличии рудного объекта в данной точке (событие Y), содержащееся в j -и значении (градации i -го признака).

Правомерность данной формулы при этом обосновывается следующим образом: «Из формулы видно, что количество информации тем больше, чем выше вероятность обнаружения рудного объекта при наличии данного значения признака по сравнению с вероятностью его нахождения в целом по исследуемому району. $I(Y; X_{ij})$ — положительно, когда использование значения признака повышает вероятность обнаружения рудных объектов, и отрицательно — когда снижает эту вероятность... Это вполне соответствует интуитивным представлениям о мере количественной оценки перспективности» [11, с. 31].

Содержательный анализ приведенной методической формулы (2) и ее авторского комментария позволяет сделать несколько критических замечаний, суть которых сводится к следующему.

Первое. Не вызывает доверия утверждение об отрицательном количестве информации, содержащемся в признаке относительно пространственно взаимосвязанных с ним рудотаксономических объектов, на основании лишь значительного площадного распространения признака. (Под рудотаксономическим объектом понимается рудный объект, размер которого соответствует масштабу проводимых работ. Например, масштабу 1 : 50000 соответствует рудное поле).

Допустим, что какой-либо признак (градация признака) занимает 60 % исследуемой территории, а в пределах его распространения находится 50 % эталонных рудных объектов. Используя в этом случае приведенную формулу, получаем отрицательное количество информа-

ции о рудных объектах, по модулю равное 0,26 бит. В то же время известно, что данный признак для этих 50 % объектов является рудо-контролирующим фактором и в пределах ареала его распространения сrudogenетических позиций могут быть выявлены новые рудные объекты. О каком отрицательном количестве информации мы можем вести речь в данном случае, не вступая в противоречие с основами металлогенеза? Существа дела здесь заключается в том, что рассматриваемый признак является знаком рудотаксономического объекта более низкого иерархического уровня (т. е. соответствующего предыдущему масштабу исследований), а на данной стадии работ количество информации, содержащееся в нем относительно эталонных объектов, является положительно небольшим, пусть даже весьма небольшим, но никак не отрицательным. Признание же отрицательной информации (информационности) равносильно утверждению, что процесс или явление, фиксируемое данным признаком, имеет антирудную направленность, что противоречит здравому смыслу.

Второе. Пусть на исследуемой территории имеется только один рудотаксономический объект, пространственно и генетически связанный с тектонически ослабленной зоной, фиксируемой отрицательной аномалией кажущегося сопротивления. На площади работ наблюдается еще N подобных аномалий, геологическая природа которых апрорно неизвестна. Почему эти N аномалий, как следует из приведенной формулы, должны использоваться при определении количества информации об эталонном объекте? Они никакого отношения к данному конкретному рудотаксономическому объекту не имеют и не могут содержать о нем какую-либо информацию. Это уже мы в процессе непосредственной оценки перспектив рудоносности должны переносить на них значение количества информации (информационности), полученное на аномалии, фиксирующей эталонный объект прогноза.

На основании приведенных критических замечаний, по-видимому, можно утверждать, что использование модификаций информационной меры Шеннона для целей количественной оценки перспектив рудоносности территорий является парадоксом, обусловленным приспособлением математического аппарата управления техническими коммуникациями на процесс познания геологических объектов.

Изложенный материал свидетельствует об актуальности поиска новых путей определения количества информации о рудных объектах, которые, в соответствии с философским анализом проблем теории информации [8, 9], должны лежать через связь понятия «информация» с категорией «отражение». В соответствии с этим автором разрабатывается негэнтропийная (информационная) концепция отражения, в прикладном аспекте ориентированная на создание формализованного информационно-количественного аппарата познания окружающей действительности. Теоретические основы концепции, применительно к информационной оценке признаков при прогнозно-геологических исследованиях, сводятся к следующему.

Рассмотрим картографическую систему, макроэлементами которой являются рудотаксономический объект A (отражающий объект) и его признак B (отражающий объект), фиксирующий площадь распространения какого-либо процесса или явления. Каждый из объектов представлен конечным связанным множеством условно неделимых элементов, обладающих одинаковым статистическим весом (при картографических исследованиях за условно неделимый элемент принимается элементарная единичная площадь), то есть

$$\left\{ \begin{array}{l} A = a_1, a_2, \dots, a_x \\ B = b_1, b_2, \dots, b_y \end{array} \right. \quad (3)$$

Система (3) может находиться в одном из трех макросостояний (рис. 1), отражающих взаимодействие (взаимосвязь) между рудотаксономическим объектом и его признаком, в результате которого образуется новое множество элементов K мощности Z , такое, что $K = A \cap B$. То есть мощность Z множества K отражает величину области пространственного взаимодействия между объектами A и B , которое может

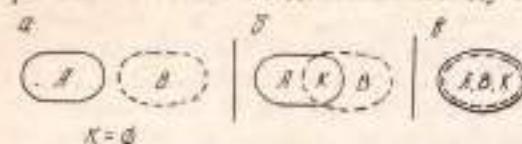


Рис. 1. Макросостояния системы взаимодействующих объекта A и его признака B :

a — макросостояние 1 (пустое взаимодействие),
 b — макросостояние 2 (частичное взаимодействие),
 c — макросостояние 3 (идеальное взаимодействие)

Очевидно, что мощности дополняющих множеств $A \setminus K$ и $B \setminus K$, равные $(X - Z)$ и $(Y - Z)$, являются численным выражением соответствующих пространственных областей ошибок первого и второго рода в отражении рудотаксономического объекта его признаком, а эмпирические вероятности этих ошибок [$P(1)$ и $P(2)$] соответственно равны:

$$P(1) = \frac{X - Z}{X}; \quad P(2) = \frac{Y - Z}{Y}. \quad (4)$$

События, представляющие собой ошибки отражения первого и второго рода, являются совместными, и, следовательно, вероятность того, что в отражении рудотаксономического объекта его признаком будет наблюдаться хотя бы одна из ошибок [$P(1+2)$], в соответствии с теоремой сложения вероятностей совместных событий [3] равна:

$$P(1+2) = P(1) + P(2) - P(1) \cdot P(2) = 1 - \frac{Z^2}{XY}. \quad (5)$$

Совместный анализ выражения (5) и рис. 1 показывает, что если между объектами A и B наблюдается пустое взаимодействие (то есть взаимодействие, как таковое, отсутствует), то $P(1+2) = 1$, если — идеальное, то $P(1+2) = 0$, в случае частичного или статистического взаимодействия $P(1+2)$ заключена в промежутке от 0 до 1. Поскольку, чем больше величина области взаимодействия между рудотаксономическим объектом и его признаком, тем меньше значение $P(1+2)$, то вероятность $P(1+2)$ представляет собой однозначную функцию состояния системы «объект — признак», значение которой прямо пропорционально неопределенности взаимодействия между элементами рудотаксономического объекта и его признаком.

В соответствии с принципом Больцмана, определяющим энтропию как «меру вероятности пребывания системы в данном состоянии» [7, с. 1573], и учитывая общепринятое понимание энтропии как меры неопределенности, можно утверждать, что $P(1+2)$ представляет собой энтропию взаимодействия (взаимосвязи) рудотаксономического объекта и его признака (E_V). Так как данная энтропия прежде всего есть вероятность, то обратная ей вероятность, равная $(1 - E_V)$, очевидно есть мера организации или определенности, что позволяет назвать ее информацией взаимодействия (термин «информация» имеет несколько интерпретаций, согласно одной из которых «информация представляет собой меру организации системы» [10, с. 153]).

быть пустым ($Z=0$) (рис. 1, a), частичным (статистическим) ($0 < Z < X, Y$) (рис. 1, b) или идеальным ($X=Y=Z$) (рис. 1, c). Рассмотрим второе макросостояние (рис. 1, b) как наиболее общий случай существования системы и перейдем к оперированию с мощностями множеств.

Таким образом, выражения для количественного определения энтропии и информации взаимодействия рудотаксономического объекта и его признака имеют вид:

$$E_V = 1 - \frac{Z^*}{XY}; \quad I_V = \frac{Z^*}{XY}. \quad (6)$$

Заметим, что в процессе взаимодействия объектов происходит их взаимное отражение друг через друга, в соответствии с чем отношение Z/X может быть проинтерпретировано как мера отражающей способности объекта A относительно признака B , а отношение Z/Y — соответственно как мера отражающей способности признака B относительно объекта A .

С учетом сделанного замечания и на основании выражения (6) информация или мера организации взаимодействия рудотаксономического объекта и его признака определяется как вероятность взаимодействия их элементов между собой, численно равная произведению мер отражающих способностей объекта и признака относительно друг друга.

Полученные выражения (6) не являются исчерпывающими информационными характеристиками взаимосвязи рудотаксономического объекта и его признака, так как в ряде случаев проявляют инвариантность относительно их геометрических и масштабных преобразований и соответственно не реагируют на происходящие при этом изменения величины области взаимодействия. Другими словами, мы можем наблюдать множество признаков с одинаковым значением I_V , но различной величиной области K , которая отражает информационное многообразие взаимодействия объекта и его признака. В соответствии с этим введем в рассмотрение понятие «информационное сечение», определяемое как «хартлиевское» (комбинаторное) количество информации об объекте, отражаемое мощностью наблюдаемого множества его элементов (информация по Хартли есть мера многообразия элементов системы, численно равная двоичному логарифму их числа). Согласно данному определению формулы для расчета информационного сечения рудотаксономического объекта (I_x), его признака (I_y) и области их взаимодействия (I_z) имеют вид:

$$I_x = \log_2(X+1); \quad I_y = \log_2(Y+1); \quad I_z = \log_2(Z+1), \quad (7)$$

где число двоичного логарифма Хартли увеличено на единицу с целью исключения нулевых значений при наблюдении единичных множеств элементов.

В содержательном плане выражения (7) представляют собой количества информации как меры многообразия, которые рудотаксономический объект и его признак передают (отражают) друг другу и в результате происходящего между ними взаимодействия содержат (принимают) друг о друге.

Совместный анализ выражений (6) и (7) и их интерпретаций показывает, что общая информационно-количественная характеристика признака представляет собой сложную функцию двух аргументов: информации как меры организации взаимодействия объекта и его признака (I_V) и информации как меры многообразия этого взаимодействия (I_z). Назовем эту функцию относительной негэнтропией (информацией) отражения, имея в виду, что в общем случае под относительной негэнтропией двух объектов понимается информация, которую имеет один объект относительно другого [6].

Очевидно, что относительная негэнтропия, или информация отражения (I_H), находится в прямо пропорциональной зависимости от каждого из своих аргументов и по величине не может превышать информацион-

ное сечение отражаемого через признак объекта, в соответствии с чем ее аналитическое выражение имеет вид:

$$I_U = I_V \cdot I_z = \frac{Z^*}{XY} \log_2 (Z + 1), \quad 0 < I_U < \log_2 (X + 1). \quad (8)$$

Из структуры выражения (8) и содержательной сущности составляющих его элементов следует, что относительная негэнтропия отражения, при проведении прогнозно-геологических работ с использованием рудных эталонов, является двумерной информацией о диалектической взаимосвязи рудотаксономического объекта и его признака, численно равной произведению меры организации их взаимодействия и информационного сечения области этого взаимодействия. (Диалектическая взаимосвязь следует прежде всего из представления рудотаксономического объекта как познаваемого содержания, а признака — как элемента формы его проявления в геологической среде).

Негэнтропию отражения принципиально можно использовать в качестве информативности признаков, но при этом не будет учитываться тот факт, что если объект и признак поменять ролями, то ее величина не изменится. Вместе с тем, в общем случае, отражающие способности объекта и его признака относительно друг друга различны, вследствие чего различна и значимость наблюдаемой негэнтропии относительно каждого из них.

В соответствии со сделанным замечанием представляется более предпочтительным в качестве информативности признаков при количественной оценке перспектив рудоносности территорий использовать негэнтропийный (информационный) вес отражения $[P(I)]$ как информационную характеристику полноты (значимости) отражения рудотаксономических объектов через их признаки, численно равную отношению негэнтропии наблюдаемого отражения к негэнтропии идеального отражения, то есть

$$P(I) = \frac{I_U}{I_x}, \quad 0 < P(I) < 1. \quad (9)$$

Сопоставляя полученные информационные характеристики признаков (8), (9) с традиционной модификацией меры Шеннона (2), можно констатировать, что они лишены отмеченных выше ее недостатков и,

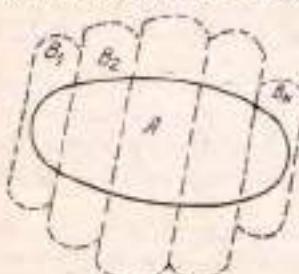


Рис. 2. Система взаимодействующих объекта A и совокупности его признаков $B_1, B_2 \dots, B_N$

кроме того, проявляют инвариантность относительно общих размеров исследуемой территории, что позволяет, с одной стороны, использовать их значения при работе на новых площадях, а с другой — формализованно сопоставлять между собой на единой методической основе результаты познания (прогнозного моделирования) различных рудотаксономических объектов независимо от их иерархического уровня и вида полезного ископаемого (хотя бы посредством простой оценки аддитивного информационного веса наблюдаемых совокупностей признаков).

Для более строгого сопоставления познавательных возможностей негэнтропийной концепции отражения и теории информации Шеннона рассмотрим вопрос об аддитивном количестве информации, получаемом при наблюдении системы, макрэлементами которой являются рудотаксономический объект и N взаимосвязанных с ним пространственно несовместимых признаков (значений или градаций какого-либо признака) (рис. 2).

Для решения поставленной задачи зададимся следующими условиями:

1. Ошибки второго рода в отражении рудотаксономического объекта любым из его признаков отсутствуют, то есть признаки вне границ объекта не наблюдаются ($Y_i = Z_i$).

2. Ошибки первого рода в совокупном отражении рудотаксономического объекта его признаками отсутствуют, то есть объект за пределами распространения признаков не существует ($\sum_{i=1}^N Y_i = X$).

3. Вероятность наблюдения каждого признака среди элементов рудотаксономического объекта (P_i) постоянна и в соответствии с первыми двумя условиями равна $1/N$.

В этом случае аддитивное количество информации о рудотаксономическом объекте, определяемое с помощью формулы Шеннона (1), соответствует двоичному логарифму Хартли от числа равновероятных признаков, то есть

$$I_w = \log_2 N. \quad (10)$$

В свою очередь аддитивная негэнтропия отражения (I_U^A) равна:

$$I_U^A = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^N \left[\frac{Z^2}{Y} \log_2 (Z + 1) \right]. \quad (11)$$

Учитывая, что при заданных условиях $Y_i/X = P_i = 1/N$, выражение (11) после соответствующих подстановок преобразуется к виду:

$$I_U^A = \log_2 (X + N) - \log_2 N. \quad (12)$$

Проводя совместный содержательный анализ выражений (1), (10), (12), можно сделать следующие выводы:

1. При заданных условиях определения количества информации о рудотаксономическом объекте между информационной мерой Шеннона и аддитивной негэнтропией отражения существует функциональная взаимосвязь, которая при $X = N(N - 1)$ сводится к равенству между ними.

2. Аддитивная негэнтропия отражения с ростом числа признаков уменьшается, достигая в предельном случае, при $N = X$, значения $\log_2 = 1$ бит, то есть 1 бит (отражения) — минимальное количество информации, которое можно получить об объекте, наблюдая взаимосвязанную с ним совокупность пространственно несовместимых признаков, при условии, что ошибки отражения второго рода отсутствуют, а объект за пределами распространения признаков не наблюдается.

3. Количество информации о рудотаксономическом объекте, получаемое с помощью формулы Шеннона, с уменьшением числа признаков также уменьшается и при $N = 1$ становится равным нулю, что противоречит здравому смыслу, так как в этом случае, при отсутствии ошибок отражения первого и второго рода, между объектом и его признаком наблюдается идеальная взаимосвязь и соответственно информация об объекте отражается через признак идеальным образом.

4. Вероятность встречи любого признака среди элементов рудотаксономического объекта как аргумент функции в формуле Шеннона не зависит от величины ошибок второго рода в отражении объекта его признаками, что говорит об односторонности данной информационной меры, как инструмента познания системы «объект — признак».

Приведенные выводы свидетельствуют, что принципиальное различие негэнтропийной концепции отражения и теории информации Шеннона с позиций познания рудотаксономических объектов заключается

в том, что негэнтропийная концепция рассматривает систему «объект — признак» в неразрывном единстве с окружающей геологической средой, взаимосвязь с которой учитывается посредством ошибок отражения второго рода, а теория Шеннона представляет эту систему изолированной (замкнутой) от внешней среды, что проявляется в инвариантности получаемых результатов относительно распространения признаков за пределами отражаемого ими объекта.

Резюмируя сказанное, можно утверждать, что негэнтропийная концепция отражения обладает несомненными преимуществами перед традиционной теорией информации при количественной оценке перспективрудоносности территорий, что позволяет рассматривать ее практическое использование как один из путей повышения эффективности прогнозно-геологических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлинг А. М. Образ пространства: карта и информация.—М.: Мысль, 1986.—240 с.
2. Высокоостровская Е. Б., Зеленецкий Д. С. О количественной оценке перспектив территории при поисках месторождений рудных полезных ископаемых // Сов. геология.—1968.—№ 8.—С. 58—71.
3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика.—М.: Высшая школа, 1972.—368 с.
4. Добрушин Р. Л. Теория информации (комментарии) // Теория информации и теория алгоритмов.—М.: Наука, 1978.
5. Канищев А. Д. Опыт применения информационных методов при металлогеническом анализе Забайкалья // Математические методы при прогнозе рудоносности.—М.: Наука, 1977.—С. 216—227.
6. Мамчур Е. А., Овчинников Н. Ф., Усмов А. И. Принцип простоты и меры сложности.—М.: Наука, 1989.—303 с.
7. Советский энциклопедический словарь / Под. ред. А. М. Прохорова.—М.: Сов. энциклопедия, 1989.
8. Суханов А. П. Информация и прогресс.—Новосибирск: Наука, 1988.—192 с.
9. Урсул А. Д. Проблема информации в современной науке.—М.: Наука, 1975.
10. Философский словарь / Под ред. М. М. Розенталя.—М.: Политическая литература, 1975.
11. Чагин М. М. Применение теории информации при решении геологических задач / Математические методы исследований в геологии: Обзор ВИЭМС.—М., 1977.—51 с.
12. Шестаков Ю. Г. Математические методы в геологии.—Красноярск: изд. Красноярского ун-та, 1988.—206 с.
13. Шилейко А. В., Шилейко Т. И. Беседы об информатике.—М.: Молодая гвардия, 1989.—288 с.

УДК 622.271.333 : 624.131.537

В. Г. Зотеев, О. В. Зотеев, Т. К. Костерова

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ МАССОВЫХ ЗАМЕРОВ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА ЭВМ

Оценка параметров трещиноватости является обязательным элементом исследований при разработке месторождений твердых полезных ископаемых и геологическом картировании, поскольку они оказывают решающее влияние на прочностные и деформационные характеристики скального массива. Это необходимо учитывать не только в расчетах устойчивости горных выработок при открытом и подземном способах разработки месторождений, но и при строительстве гидротехнических и специальных сооружений.

Изучение трещиноватости начинается, как правило, с выделения основных систем трещин, расчленяющих скальный массив, с последующим определением таких параметров, как ориентировка трещин (азимут простирации и угол падения), их протяженность, густота (интенсивность) их раскрытия, а также вариации этих показателей. Определение этих параметров возможно лишь на основе массовых замеров, проводимых на скальных обнажениях (уступы карьера, стены и забои горных выработок).

Методика проведения массовых замеров широко освещена в технической литературе [4, 5, 8]. Вместе с тем из анализа опубликованных методик следует, что использование статистических методов для данных массовых замеров имеет смысл лишь в том случае, если установлено, к какой системе трещин относятся эти показатели. Таким образом, при статистической обработке данных массовых замеров первоочередной задачей является выделение систем трещин (определение их границ), так как лишь после этого можно определить номера замеров, принадлежащих к той или иной совокупности, и приступить к статистической обработке ее параметров.

Если каждую из трещин представить в виде вектора, выходящего из центра полусфера, то точку пересечения вектора и полусферы можно определить двумя координатами — широтой и долготой или азимутом и углом падения [1]. Так как обработка данных замеров обычно производится на полярной проекции полусферы на плоскость (круговые диаграммы) [4, 5, 8], то при оценке плотности распределения точек необходимо учитывать искажения проектирования [1]. При выделении систем трещин с разными углами падения необходимо учитывать, что если погрешность замера по углу падения (m_δ) можно считать стабильной, то погрешность измерения азимута (m_a) резко возрастает с уменьшением угла падения (при $\delta=0$ понятие азимута теряет смысл). Впервые эту закономерность установил А. В. Пронин [2], который записал ее в виде формулы

$$\sin m_a = \frac{\sin m_\delta}{\sin \delta}, \quad (1)$$

где δ — угол падения трещины.

Как свидетельствует анализ, более строгая запись этой зависимости имеет вид:

$$\operatorname{tg} m_a = \frac{\operatorname{tg} m_\delta}{\sin \delta}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что при $\delta=90^\circ$ $m_a=m_\delta$, при $\delta \rightarrow 0$ погрешность измерения азимута будет максимальной, т. е. рассеяние субгоризонтальной системы трещин по азимуту может достигать 360° .

Для исключения влияния искажений проектирования результатов замеров с полусферы на плоскость А. Б. Вистелиусом [1] было предложено производить обработку диаграмм трещиноватости с помощью специальных транспарантов, участки (окна) которых имеют равную площадь на полусфере [1]. Однако предложенный им транспорт имеет слишком крупные участки, каждый из которых равен или превышает размер системы трещин (полусфера делится всего на 12 участков) [1]. Кроме того, этот транспарант предназначен для экваториальной, а не полярной проекции полусферы, которая для обработки массовых замеров не используется. Транспарант Брайчи более удачен, но размеры его участков (200 окон) слишком малы, что ведет к выделению ряда ложных систем, включающих 1—3 близлежащих точки (трещин). В работах [2, 3] было показано, что оптимальный размер окна тран-

спаранта должен быть близок по азимуту — $2m_a$, по углу падения — $2m_b$. Таким образом, помимо равенства площадей окон, их форма должна учитывать соотношение $m_a = f(m_b, \delta)$, а размер составлять около 0,25—0,33 площади системы. Поскольку величина m_a (среднеквадратичное отклонение) для различных генетических типов трещин колеблется в интервале от 3,5 до 8,4° [7], то в [3] были рассчитаны транспаранты с равновеликими участками, разделяющими проекцию полусфера на 60, 90 и 120 окон (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные для построения транспарантов при обработке массовых замеров трещинопастости

60 участков			90 участков			120 участков		
Номер поясов	Пределы поясов по δ, градусы	Число участков по α	Номер поясов	Пределы поясов по δ, градусы	Число участков по α	Номер поясов	Пределы поясов по δ, градусы	Число участков по α
1	0—10	1	1	0—8	1	1	0—7	1
2	10—28	6	2	8—23	6	2	7—19,5	6
3	28—44	10	3	23—38	12	3	19,5—32,5	12
4	44—62	15	4	38—52,5	16	4	32,5—45	16
5	62—80,2	18	5	52,5—67	20	5	45—57	20
6	80,2—90	20*	6	67—82,5	23	6	57—70	24
			7	82,5—90	24*	7	70—83,3	27
						8	83,3—90	28*

* Участки состоят из двух половинок, находящихся на противоположных краях поля (азимуты половинок отличаются на 180°).

Все три типа транспарантов имеют следующие общие признаки:

Первый участок, соответствующий субгоризонтальным трещинам, расположен в центре транспаранта ($\delta=0$, азимут отсутствует); второй участок (сегментный пояс) у всех транспарантов разделен на 6 участков; в третьем и т. д. сегментных поясах количество участков последовательно увеличивается, а размер по азимуту уменьшается в соответствии с формулой (2); в последнем (внешнем) сегментном пояссе центры участков располагаются на внешней окружности транспаранта, что соответствует среднему углу падения $\delta=90^\circ$, поэтому каждый участок транспаранта этого пояса состоит из двух половинок, расположенных на противоположных краях диаграммы, отличающихся по азимуту на 180° (это соответствует вариации азимутов субвертикальных трещин).

Поскольку при обработке диаграмм как с использованием статистического окна, так и транспарантов остается открытым вопрос о плотности, соответствующей границе системы, то было предложено [2] принимать за внешнюю границу изолинию, отделяющую область повышенной концентрации от областей, плотность распределения в которых соответствует среднему значению, т. е.

$$m_{cp} = \frac{N}{P}, \quad (3)$$

где N — общее число замеров на точке съемки; P — число участков транспаранта.

Если учесть влияние случайных отклонений распределения плотности трещин, то согласно критерию Пирсона при 5 % уровне обеспечения плотность, принимаемую за границу системы, следует увеличить до значения

$$m_2 = 1,22 \frac{N}{P}. \quad (4)$$

Изолиния m_2 будет ограничивать систему областью с варьированием по азимуту и углу падения соответственно $\pm 1,96m_\alpha$ и $\pm 1,96m_\delta$, т. е. областью двойных среднеквадратических отклонений. Далее, исходя из нормального закона распределения, можно показать, что если область внутри изолинии m_2 включает 95 % всех трещин данной системы, то в область внутри изолинии m_1 с пределами варьирования $\pm 1,0m_\alpha$ и $\pm 1,0m_\delta$ будет заключено 68 % всех трещин. Если учесть, что площади внутри изолиний m_2 и m_1 соответственно равны $4\pi m_\alpha m_\delta$ и $\pi m_\alpha m_\delta$, то плотность, соответствующая m_1 , может быть определена из соотношения

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{0,68}{4\pi m_\alpha m_\delta} : \frac{0,97}{\pi m_\alpha m_\delta},$$

откуда

$$m_1 = 2,87m_2 = 3,5 \frac{N}{P}. \quad (5)$$

С учетом (4) и (5) для выделения систем трещин на диаграмме достаточно наложить на нее транспарант, подсчитать число трещин (точек), попавших в пределы каждого участка, и путем интерполяции провести изолинии, соответствующие плотностям m_2 и m_1 . Выделив таким образом системы трещин, по номерам замеров, находящихся внутри изолиний, можно произвести статистическую обработку таких параметров, как длина трещин, расстояние между ними (интенсивность) и их раскрытие с определением средних значений параметров и их вариации.

Поскольку соседние системы достаточно часто имеют взаимное перекрытие, то средние значения a_{cp} и δ_{cp} каждой системы и их среднеквадратическое отклонение (m_α и m_δ) следует определять по изолиниям m_1 и m_2 , при этом для m_1 :

$$\begin{aligned} a_{cp} &= \frac{a_{max} + a_{min}}{2}, \\ m_\alpha &= \frac{a_{max} - a_{min}}{2}, \\ \delta_{cp} &= \frac{\delta_{max} + \delta_{min}}{2}, \\ m_\delta &= \frac{\delta_{max} - \delta_{min}}{2}, \end{aligned} \quad (6)$$

для m_2 :

$$\begin{aligned} a_{cp} &= \frac{a_{max} + a_{min}}{2}, \\ m_\alpha &= \frac{a_{max} - a_{min}}{4}, \\ \delta_{cp} &= \frac{\delta_{max} + \delta_{min}}{4}, \\ m_\delta &= \frac{\delta_{max} - \delta_{min}}{2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Если при сравнении значений a_{cp} , δ_{cp} , m_α и m_δ , рассчитанных по (6) и (7), расхождение будет превосходить по m_α и m_δ 50 %, необходимо провести анализ данных на возможность принадлежности замеров, попавших в область m_2 , к разным генерациям трещин. При этом в качестве отличительных признаков могут быть использованы морфо-

логия поверхностей трещин, тип заполнителя их полостей, наличие зеркал и ориентировки борозд скольжения.

Вышеописанная методика имеет ряд недостатков, присущих также другим графическим методам:

при большом количестве замеров часть точек может иметь одинаковые значения а и б, т. е. точки на диаграмме будут сливаться;

ручная (графическая) обработка весьма трудоемка;

поскольку участки транспарантов имеют фиксированные границы, то местоположение m_1 и m_2 при использовании разных транспарантов может быть различным.

Последний недостаток может быть устранен, если обработку диаграмм производить с использованием нескольких транспарантов, но в этом случае трудоемкость возрастает в несколько раз.

С целью обеспечения обработки данных массовых замеров был разработан комплекс программ, ориентированных на персональные компьютеры, совместимые с компьютерами фирмы IBM. Комплекс состоит из двух программ, одна из которых позволяет проводить статистическую обработку векторных величин и выделение системы трещин на основе использования транспарантов, участки которых имеют равную площадь на полусфере. Вторая программа предназначена для вычисления статистик (средние значения и стандарты для длины трещин, их раскрытие и т. п.) по трещинам, попавшим в ту или иную систему.

Программный комплекс позволяет не только проводить сортировку трещин по двум параметрам (типу трещин и типу заполнителя их полостей), но и обрабатывать замеры, выполненные солнечным комплексом. Обе программы рассчитаны на диалоговый режим. Для этого данные по замерам должны быть заранее подготовлены и записаны в какой-либо файл, поочередно используемый затем обеими программами.

Структура этого набора данных следующая:

первой строкой идет название пункта измерения (до 20 символов);

количество трещин в наборе данных и признак, определяющий, каким компасом производился замер азимутов трещин (0 — магнитный, 1 — солнечный), при этом вводимые числа разделяются пробелом;

в том случае, если вводятся солнечные азимуты, в следующих трех строках записываются: широта местности (градусы, минуты и секунды, разделенные пробелами), солнечное склонение (в том же виде) и поправка к поясному времени (часы и минуты, разделенные десятичной точкой);

далее следуют результаты измерений, подготовленные в свободном формате: время замера (при использовании солнечного компаса), отчет по солнечной тени или магнитной стрелке, угол падения трещины (в градусах), тип трещины (1 — сколовая, 2 — трещина растяжения), тип заполнителя (любой индекс, кроме 0), длина трещины, расстояние между соседними трещинами одной системы и их раскрытие (три последние величины вводятся в метрах).

Для выделения систем трещин используется программа DIAG, написанная на версии профессионального фортрана IBM. После ее вызова на экран терминала выдается требование указать полное имя (с указанием пути) файла с данными замеров. Далее следуют запросы, определяющие сортировку первичных данных, т. е. надо ввести тип обрабатываемых трещин (0 — обрабатываются трещины всех типов, 1 — только сколовые, 2 — только трещины разрыва) и тип заполнителя (0 — обрабатываются трещины с любым заполнителем). После сортировки следует запрос о выбранном количестве окон транспаранта (предусмотрены транспаранты с 60, 90 и 120 участками). Следующий запрос программы определяет способ графического изображения (экран дисплея или принтер). Обработка массива замеров (до 200 тре-

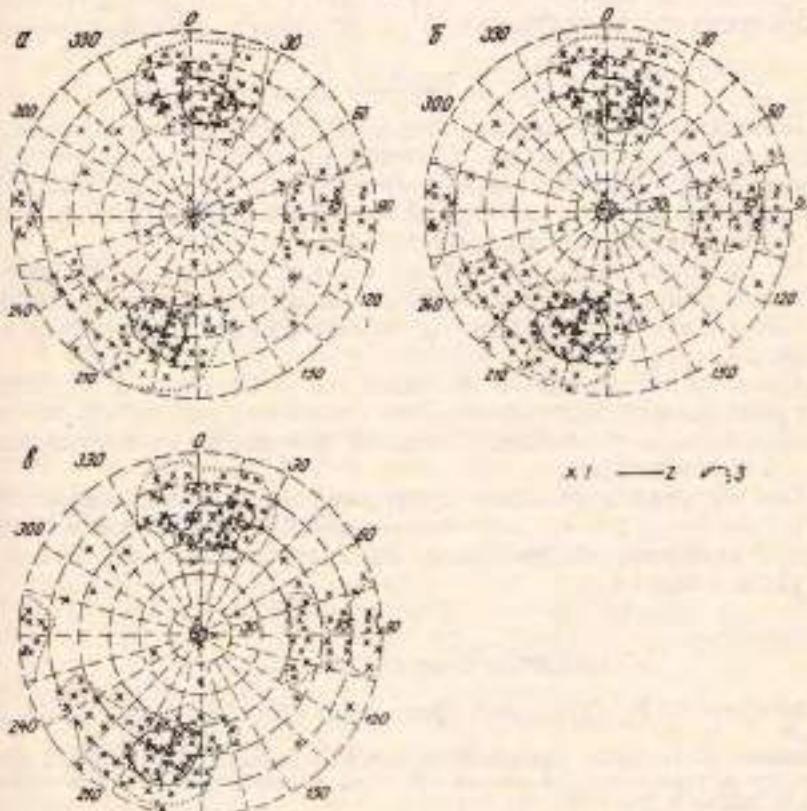
щия) с помощью любого транспаранта и выводом графика на терминал занимает около 40 с на IBM PC/AT — 286/287. При выводе графики на принтер этот же процесс занимает около 15 мин.

Таблица 2

Средние элементы залегания систем трещин Соколовского карьера

Транс-паралл	I				II			
	по m_1 , град.		по m_2 , град.		по m_3 , град.		по m_4 , град.	
	α	δ	α	δ	α	δ	α	δ
60	9	56	2	60	202	59	202	63
90	5	53	6	59	198	59	207	64
120	9	56	2	60	202	59	202	63

Переход к вычислению статистик трещин той или иной системы (программа STATI) имеет смысл лишь после того, как с помощью программы DIAG будут надежно определены их границы. Использование



Круговая диаграмма трещиноватости (Соколовский карьер, число измерений $N=190$, число участков транспаранта $P=60$ (a); $P=90$ (b); $P=120$ (c))

1 — элементы залегания единичной трещины; 2 — граница системы трещин в пределах $\pm m_1$ и $\pm 2m_1$ (плотность 3,5 N/P); 3 — граница системы трещин в пределах $\pm m_2$ и $\pm 2m_2$ (плотность 1,2 N/P)

программы STATI также представляет собой ответы на ряд запросов (или файла с данными: тип трещин, длина, раскрытие и т. п.). Граница системы трещин вводится в ответ на запрос с экрана терминала в

виде набора точек (азимут и угол падения). Направление обхода этого контура произвольное. Между заданными точками граница проводится линейной интерполяцией в полярных координатах. Поэтому участок границы системы, имеющий постоянный угол падения или азимут, может быть задан двумя точками. Границы системы могут быть произвольной формы, как выпуклые, так и вогнутые.

После обработки данных по трещинам заказанных систем (отказ от обработки на соответствующий запрос) на экран выводится таблица со средними значениями и стандартными отклонениями от них для следующих величин: азимут и угол падения трещин, их длина и раскрытие, расстояние между трещинами в системе, а также количество трещин, попавших в данную систему.

Влияние типа транспаранта на точность выделения систем трещин продемонстрировано на примере обработки данных замеров азимутов и углов падения трещин Соколовского карьера, которые приведены на рисунке.

Из анализа рисунка следует, что отклонения в границах систем при обработке разными транспарантами (табл. 2) несущественны и при выделении по плотности m_1 для среднего угла падения трещин размах варьирования не превышает 3° , а по азимуту простирации — 4° .

Выводы

1. Предлагаемая методика обработки трещиноватости отличается от используемых в практике большей объективностью, поскольку в ней учитываются как требования математической статистики при обработке векторов, так и искажения плотности распределения при проектировании полусферы на плоскость.

2. Во всех предложенных транспарантах размеры окон, имеющих равновеликую площадь на полусфере, выбраны с учетом взаимосвязи рассеяния элементов залегания трещин по азимуту простирации и углу падения.

3. Границы систем как по m_1 , так и по m_2 базируются на объективных вероятностных показателях, что позволяет определять не только средние элементы залегания систем, но и пределы их варьирования с заданной надежностью.

4. Предлагаемый комплекс программ обеспечивает автоматизированную обработку данных массовых замеров с выделением всех систем трещин и определением требуемых параметров с выводом как на дисплей, так и в печать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вистенус А. Б. Структурные диаграммы.—М.: Изд-во АН СССР, 1958.—С. 13—19.
2. Зотеев В. Г. Выбор рациональной методики обработки результатов массовых замеров при изучении трещиноватости // Вопросы маркингера. Дела.—Белгород: ВИОГЕМ, 1962.—Ч. 2.—С. 60—67.
3. Зотеев В. Г., Морозов В. И. Основы методики обработки массовых замеров трещиноватости на железорудных месторождениях различных генетических типов.—Труды ИГД Минчермета СССР.—Свердловск, 1975.—Вып. 47.—С. 38—44.
4. Нейштадт Л. И., Пирогов И. А. Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород.—М.: Энергия, 1969.—248 с.
5. Рац М. В., Чернышев С. И. Трещиноватость в свойства трещиноватых горных пород.—М.: Недра, 1970.—164 с.
6. Рыжов П. С. Геометрия недр.—М., 1967.—86—89 с.
7. Смирнов А. Ф. К методике обработки замеров трещиноватости.—Труды ВНИМИ.—Л., 1964, вып. 51.—С. 350.
8. Чернышев С. И. Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов.—М.: Недра, 1984.—111 с.

В. М. Саложников

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ
РУДОВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД
ПО ДИАГРАММАМ КАРОТАЖА**

Даже в случае высокого выхода керна задача литологического расчленения разреза в рудных районах является актуальной в связи с отсутствием надежных критериев при субъективном описании признаков керна горных пород, наличием многочисленных переходных разностей, влиянием на вид образцов процессов регионального или локального метаморфизма и других факторов. Вместе с тем внедрение в практику компьютерной техники открывает широкие возможности для использования при литологическом расчленении разреза и отражения степени метаморфических преобразований пород комплекса диаграмм каротажа. Один из возможных подходов к решению этих задач покажем на примере классификации горных пород Шемурской колчеданоносной структуры на Северном Урале.

Типичный геологический разрез через эту вулканическую структуру, в пределах которой выявлены два месторождения и несколько рудо-проявлений, представляет непрерывное чередование вулканогенных пород различного состава от липаритов до базальтов, причем фациальная принадлежность пород одного и того же состава может быть самой разнообразной: лавы, туфы, туфобрекции, субинтрузии, экструзивы, дайки и т. п. [2]. Считается, что породы разреза можно объединить по ряду критериев генетически комбинационного характера в крупные формации и более локальные субформации.

Основание изучаемой вулканической постройки составляют породы контрастной формации с преобладанием андезит-базальтов в низах и увеличением доли липарит-дацитовых разностей в ее верхней части, с которой вострансению и генетически связано рудообразование. Более молодые породы непрерывной формации базальт-андезит-дацит-липаритового ряда считаются пока малоперспективными на руду, так как, хотя и несут следы сульфидной минерализации, но промышленно-ценных руд в них не встречено.

В условиях достаточно пестрого разреза структуры, осложненного субинтрузиями различных размеров и формы (от маломощных даек до силообразных тел) с проявлениями разновременной тектоники и околоврудных преобразований горных пород задача по определению положения скважины в пределах сводной литолого-стратиграфической колонки является достаточно сложной, и помочь в ее решении геофизических данных может оказаться весьма существенной.

В рассматриваемом районе применяется следующий комплекс методов ГИС, используемых для качественной литологической классификации горных пород: ГГК-П, ГК, КМВ и КС. Для обоснования возможности определения количественных характеристик при литологическом расчленении разрезов скважин прежде всего были изучены статистические зависимости между параметрами, регистрируемыми первыми тремя методами. Как можно было ожидать, конкордантное соотношение выявилось между плотностью (σ) и магнитной восприимчивостью (x) и антикордантное соотношение характерно для этих параметров и естественной радиоактивности (I_v). Установленные стохастические зависимости (рис. 1, а) свидетельствуют о возможности давать петрофизическую характеристику горным породам по комплексу методов. Связь между удельным сопротивлением и другими физическими

свойствами не исследовалась, так как известно, что оно слабо зависит от состава пород, а в большей степени определяется их механическим состоянием [3, 5].

По результатам детального описания колонок нескольких эталонных скважин, для которых помимо керна исследовались шлифы, построены зависимости, отражающие пределы изменения и центральные

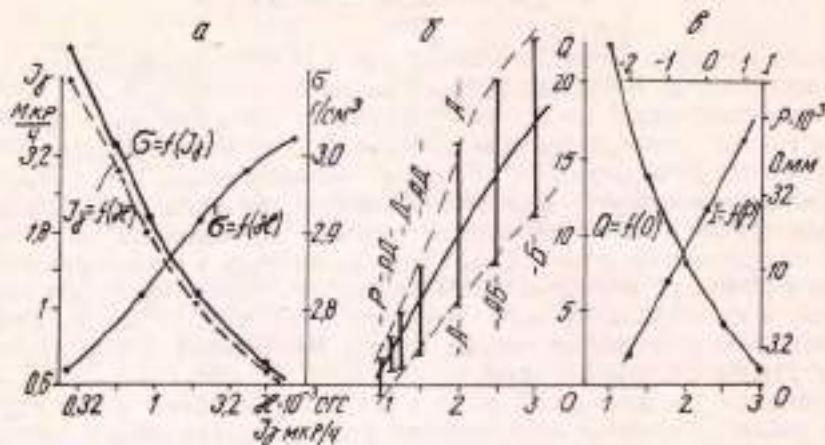


Рис. 1. Статистические петрофизические зависимости.

а — зависимости между физическими свойствами; б — зависимость между плотностью и условным показателем основности, установленная для главнейших лите-тиков горных пород; в — зависимость между показателем O и O_1 , а также P и удельным сопротивлением

P — риолиты, РД — риодициты, Д — дациты, АД — андезито-дациты, А — анди-зиты, АБ — андезито-базальты, Б — базальты

значения физических характеристик для ряда лите-типов, расположенных по мере нарастания основности этих горных пород. При этом все разновидности получили соответствующий условный индекс основности O от 1 до 3. Крайними членами этого ряда являлись липариты и базальты. Примером может служить зависимость между ρ и O (рис. 1, б). После аппроксимации этой зависимости аналитической кривой индекс основности как функции плотности равен:

$$O_1 = 9.9\rho^2 - 50.6\rho + 65.5. \quad (1)$$

Другие уравнения получены для вычисления индекса O_2 по радиоактивности и индекса O_3 по магнитной восприимчивости.

Поскольку относительные пределы колебаний значений физических свойств для представителей комплекса пород оказались различными, то потребовалось определить информационный вес C каждого из методов при оценке индекса основности. Для этого согласно [1] были рассчитаны показатели контрастности y выделения липаритов (как крайнего члена ряда по основности) на фоне базальтов, а затем — исходные характеристики C_j по формуле

$$C_j = |y_j| / \left(\sqrt{\sum_{k=1}^n y_k^2} \cdot \sum_{k=1}^n y_k \right). \quad (2)$$

С учетом информационного леса методов выражение для определения основности имеет вид:

$$O = 0.5O_1 + 0.35O_2 + 0.15O_3. \quad (3)$$

Из него видно, что максимальный вес имеют данные ГГК-П, а минимальный — данные КМВ. Последнее обстоятельство связано с сильной

зависимостью магнитных свойств литотипов от разнообразных процессов, сопровождающих вулканическую и рудообразующую деятельность рудно-магматической системы.

Другой способ классификации горных пород, также предполагающий выбор базальтов в качестве фона, основан на вычислении показателя контрастности в рядовой точке i , а затем — функции комплексного показателя θ [1], равного

$$\theta = \sum_{i=1}^n |\gamma_i|, \quad (4)$$

Например для плотности выражение γ_i имеет вид:

$$\gamma_i = \frac{3,08 - \sigma_i}{0,04}, \quad (5)$$

а при вычислении других показателей контрастности использован вариант формулы, учитывающей логнормальный закон распределения признаков. Связь между петрофизическими характеристиками θ и O получилась весьма четкой (рис. 1, а), что позволяет производить литологическую классификацию пород и по величине θ . Учитывая антикордантность соотношений этих параметров, можно полагать, что по индексу O лучше дифференцированы породы основного состава, а по θ — кислые разности.

В дополнение к рассмотренным характеристикам могут быть рекомендованы еще два коэффициента, отклонение которых от некоторых фоновых значений (практически от нуля) будет свидетельствовать об аномальности некоторых физических свойств для конкретных литотипов пород, а по величине этих коэффициентов удастся охарактеризовать степень изменений, а также их качественный характер.

Смысл коэффициента M , равного

$$M = O_1 - O_2 - O_3, \quad (6)$$

состоит в том, что он отражает расхождение в определениях индекса O по плотности и двум другим свойствам. Если в породе проявлены следы околоврудного метаморфизма, то наличие сульфидной вкрапленности вызывает увеличение плотности и, следовательно, значения O_1 . Одновременно ухудшается магнитная восприимчивость, а радиоактивность пород возрастает. В результате уменьшаются коэффициенты O_2 и O_3 , что в итоге приведет к получению положительных значений показателя M . Величина же последнего будет тем больше, чем сильнее проявлены последствия околоврудных изменений горных пород. В относительно дальней зоне околоврудного метаморфизма, напротив, отмечается относительное уменьшение плотности и радиоактивности, а магнитная восприимчивость горных пород усиливается. В итоге будут получены отрицательные значения показателя M . Возможны и другие ситуации, приводящие к отклонению физических свойств от своих характерных значений, но в подавляющем большинстве случаев причина аномальности физических свойств связана с преобразованием горных пород эпигенетическими процессами.

По данным статистических исследований в изучаемом районе все породы можно разделить на 4 статистически однородные группы по параметру КС (ρ). Группа с модальным значением 26 тысяч Ом·м выбрана в качестве фоновой, и она может быть классифицирована как породы, подвергшиеся региональному метаморфизму. Такие породы характерны для самых внешних частей известных месторождений. Примечательно, что величина ρ этой группы пород в исследуемом районе Северного Урала оказалась в 2—3 раза больше, чем у аналогичных

пород Южного Урала, где процессы регионального метаморфизма протекали более интенсивно [4, 6].

Более высокосоставленная группа пород с модальным значением 80 тысяч Ом·м в рассматриваемом районе представлена вулканитами основания колчеданоносной структуры и относительно молодыми телами субинтрузий. Две группы с модальными значениями 8 и 3 тысячи Ом·м объединяют породы с повышенной пористостью и трещиноватостью, что является признаком развития процессов окологорудного метаморфизма [4, 6]. Поэтому эти группы пород можно условно отождествлять со слабо и средне преобразованными вулканитами с неменьшим основанием, чем это делается при классификации гидротермальных пород с применением балльных оценок (П. А. Шехтман, В. А. Королев и др.).

Введем в рассмотрение I — условный показатель интенсивности преобразований, приводящих к увеличению пустотности, принимающий для пород с упомянутыми центральными значениями удельного сопротивления в порядке их убывания величины 1, 0, -1, -2, соответственно. Тогда зависимость этого показателя I от p может быть выражена аналитически:

$$I = 0,895 \ln p - 2,93. \quad (7)$$

С применением логарифмического масштаба по p она имеет вид прямой (рис. 1, а).

Достоинство показателя I состоит в том, что он сразу ориентирует пользователя на оценку отличия пород от фона и поэтому упрощает их классификацию по аномальности физико-механического состояния. Следует учитывать возможность увеличения этой аномальности за счет уменьшения удельного сопротивления поровых вод, связанного с концентрацией в них солей, являющихся индикаторами близрасположенных рудных залежей.

Таким образом, для петрофизической классификации горных пород по скважине следует ввести в компьютер систему значений глубин и физических параметров, снимаемых с диаграмм каротажа, и по достаточно простым программам с использованием формул (1-7) вычислить показатели O , Θ , M и I . Эффективность обработки данных повышается, если имеется возможность осуществить графическое изображение петрофизических характеристик, поскольку тогда легко представить общую картину изменения этих характеристик с глубиной и детально рассмотреть данные по отдельным интервалам. Обычно не трудно на исходных графиках изобразить линейный тренд каждой из характеристик.

В качестве примера на рис. 2 показаны результаты подобной обработки диаграмм каротажа по скважине 2036, расположенной на удалении 1300 м к юго-востоку от Ново-Шемурского месторождения. Обработка реализована по программе, составленной А. М. Прутьяном и Р. Ф. Гилазтдиновым на основе алгоритмов автора. Выбор на данную скважину пад потому, что в отличие от многих других скважин она прошла субнормально к серии вулканогенных образований верхней части рудоносной структуры и, по мнению автора, пересекла всю продуктивную толщу.

Представленные графики достаточно наглядно характеризуют разрез скважины в отношении литологии. По графикам O и Θ видно, что в низах скважины пересечены в основном андезито-базальты, которые можно отождествлять с верхней частью базальтовой (нижней) толщи, характерной для основания вулканической постройки рудоносной структуры. Кверху эта толща сменяется андезито-дацитами переходной толщи, над которыми залегает кислая толща риолит-дацитового состава. Если отвлечься от отдельных относительно маломощных слоев, то

отчетливо наблюдается постепенное увеличение кислотности вулканогенных пород вверх по разрезу, что позволяет говорить о возможности выделения в пределах контрастной формации непрерывной субформации, развитой в верхах первой.

Характерной особенностью верхней части разреза, вскрытого скважиной, является резкая смена кислых пород андезитовыми разностями, что служит признаком смены формации: непрерывная субформа-

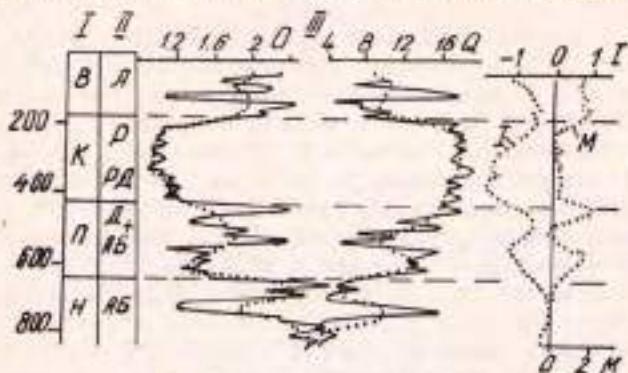


Рис. 2. Пример построения графиков петрофизических характеристик и расщепления по ним разреза скважины 2036:

I — толши, II — газовые зоны в пределах толши, III — петрофизические характеристики (пунктир — средние значения).

Толши: V — верхняя, K — кислая, П — переходная, H — нижняя.

ция заканчивается, и над ней залегают породы андезит-базальтовой формации или, по классификации Ю. С. Каратина, андезитовой формации [2]. Вообще полученные петрофизические данные хорошо согласуются со схемой формационного деления разреза и представлением изучаемой структуры в виде крупной вулкано-тектонической депрессии (Ю. С. Каратин).

По осредненной кривой показателя I видно, что только низы разреза андезит-базальтового состава соответствуют фоновым значениям и в целом можно отметить общее нарастание степени изменений горных пород, приводящих к увеличению их пустотности. Отчетливо заметны два локальных минимума, соответствующих интервалам, где изменения выражены наиболее отчетливо. Нижний из них находится на переходную андезит-дакитовую толщу, с которой начинается продуктивная часть разреза. Второй минимум лежит в пределах кислой толщи и приблизительно соответствует ее риолитовой части, сменяющей кверху породами риолитового состава. Последние в отличие от риодактов характеризуются низкой пористостью и имеют близкие к фону значения показателя I.

Примечательно, что оба минимума соответствуют двум горизонтам рудообразования, известным в пределах структуры. К нижнему горизонту приурочены залежи Шемурского, а к верхнему Ново-Шемурского месторождений. Очевидно эти горизонты являются наиболее благоприятными по физико-механическим свойствам для рудоотложения, и при наличии дополнительных факторов в них может происходить концентрация рудного вещества.

Согласно кривой показателя M следы метасоматических изменений отмечены только на нижнем аномальном по I горизонте. Это обстоятельство может означать, что данный горизонт имеет связь с рудоподводящим каналом близрасположенного Ново-Шемурского место-

рождения, а верхний горизонт изолирован от канала пережимом или субвулканическим телом. Следовательно, рудоперспективность восточного фланга упомянутого рудоподводящего канала весьма ограничена и скопление сульфидов здесь можно ожидать лишь на большой глубине, и в том случае, если будет доказано существование локализующих факторов.

В то же время хорошо заметны отчетливые признаки изменения андезит-базальтов верхней части разреза, где значения показателя M достигают 2—3 единиц. Наиболее правдоподобным объяснением этого факта является предположение о субвулканической природе образований кислой толщи. Отмеченные изменения можно связывать с прогревом вмещающих пород основного состава, вследствие которого ухудшается их магнитная восприимчивость. Одновременно в этих породах отмечается повышение радиоактивности, которое в большей степени связано с миграционными процессами урана и калия. Поскольку андезито-базальты имеют повышенную проницаемость, увеличение их радиоактивности проявляется заметнее, чем в андезито-дацитах. В результате изменения вмещающих кислую толщу пород более отчетливо заметны в относительно однородной андезито-базальтовой покрышке и более локально проявлены в нижележащей неоднородной переходной толще, где андезито-базальты представлены в виде отдельных прослоев.

Можно высказать предположение, что многочисленные отрицательные аномалии магнитного поля, фиксируемые из площади Шемурской колчеданоносной структуры, в том числе и над покровами верхней андезито-базальтовой толщи, связаны с влиянием субинтрузий. Косвенным доказательством этого явления служат факты обнаружения субвертикальных жил риодацитов, пронизывающих покровы лав основного состава и имеющих связь с лополитами кислой толщи. При этом прослеживается отчетливая закономерность в усилении магнитного поля по мере удаления от жил.

Таким образом, петрофизические исследования с применением компьютерной обработки диаграмм каротажа дают сведения, позволяющие в совокупности с другими материалами более объективно осуществлять геологическую классификацию рудовмещающих вулканогенно-магматических комплексов горных пород по составу, фаunalной и формационной принадлежности, оконтуривать зоны гидротермально-метасоматических и динамических изменений. Наличие данных о сульфидной минерализации по аномальным характеристикам ПС и МЭП помогает выявить в разрезах пути поступления минералообразующих агентов к местам рудных скоплений и в итоге — восстановить картину образования месторождений. Например, в Шемурской вулканической постройке по данным петрофизики рудоносные растворы поднимались по трещинным зонам вдоль корней силлообразных субинтрузий кислого состава, а локализация промышленных руд происходила под экраном из этих тел в пределах ловушек из брекчированных пород. Такие ловушки возникали в местах сочленения двух относительно близко образовавшихся субинтрузий под сводом своеобразной П-образной структуры. В целом же Шемурская вулканическая постройка очень напоминает Макансскую колчеданоносную кальдеру на Южном Урале.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вахромеев Г. С., Давыденко А. Ю. Моделирование в разведочной геофизике.— М.: Недра, 1987.—192 с.
2. Кусков Н. Н., Кусков В. Н. Иидельский рудный район // Медноколчеданные месторождения Урала: Геологические условия размещения.— Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985.— С. 226—230.

3. Саковцев Г. П., Сапожников В. М., Голиков Ю. В. Построение геомеханических моделей массивов рудовмещающих горных пород по данным скважинной электрометрии // Изв. вузов. Горный журнал. — 1978. — № 8. — С. 3—8.
4. Редозубов А. А. Об электрическом сопротивлении пород, имеющих колчеданные месторождения Урала // Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Тр. СГИ, вып. 128. — Свердловск, 1975. — С. 53—61.
5. Сапожников В. М. Использование диаграмм каротажа для петрофизического картирования рудовмещающих горных пород // Методика поиска и разведки глубокозалегающих рудных месторождений: Межзуз. науч. темат. сб.— Свердловск, 1977, вып. I. — С. 11—19.
6. Сапожников В. М., Шевченко В. Г. Теория и методика электроразведки в гравитационных средах. — Л.: Недра, 1992. — 135 с.

УДК 550.837.653

B. A. Серков

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РУДНОЙ ПЕТРОФИЗИКИ

Необходимость автоматизации процесса обработки и интерпретации результатов петрофизических исследований обусловлена, с одной стороны, трудоемкостью вычислительных процедур, предусматривающих анализ большого объема числовых данных, с другой — потребностью частого повторения процесса по мере накопления петрофизической информации. Особенность это актуально, если рассматривать петрофицику не только в качестве основы для формирования комплекса методов полевой и скважинной геофизики, но и как самостоятельный метод исследований в рудной геофизике. В данной статье рассматриваются проблемы formalизации процесса интерпретации результатов петрофизических исследований и возможные варианты их решения, реализованные автором в системе программного обеспечения интерпретации результатов измерений физических свойств керна поисковых и разведочных скважин.

Процесс получения геологической информации на основе анализа результатов петрофизических исследований можно представить в виде следующей схемы:

1. Обработка результатов полевых и лабораторных измерений, в основе которой, как правило, лежат методы статистического анализа. Целью обработки является выделение групп горных пород или структурно-вещественных комплексов, в пределах которых распределение физических свойств подчиняется нормальному или логнормальному закону [1, 4].

2. Физическая интерпретация данных или построение модели распределения физических свойств горных пород в изучаемой части геологического пространства.

3. Геологическая интерпретация — объяснение природы неоднородностей распределения физических свойств среды.

Первый этап приведенной выше схемы реализуется, как правило, с помощью хорошо известных алгоритмов [1, 2, 4] и в настоящее время достаточно хорошо обеспечен программными разработками для ЭВМ различных типов.

Компьютеризация третьего этапа предполагает включение в анализ геологической информации, formalизация которой и разработка алгоритмов ее использования связана с определенными трудностями.

Наибольший интерес в контексте рассматриваемой проблемы представляет процесс построения физической модели изучаемого пространства на основе анализа петрофизических данных. Во-первых, успехи в этой области значительно скромнее, нежели при решении задач обра-

ботки данных. Во-вторых, широкое распространение персональных вычислительных машин позволяет реализовать достаточно сложные технологии анализа результатов исследований, включая в процесс формальной интерпретации интуицию и опыт инженера-геофизика.

Процесс построения физической модели реализуется путем выполнения следующих процедур:

- определение общего характера (концепции) модели распределения физических свойств в пределах изучаемого пространства;
- определение элементов модели и их параметров по отдельным трассам (маршрутам) отбора образцов или точкам определения физических свойств иными способами;
- построение моделей распределения физических свойств по отдельным плоским разрезам (горизонтальным или вертикальным);
- построение объемной модели распределения физических свойств.

При реализации каждой из перечисленных выше процедур инженер-интерпретатор сталкивается с решением целого ряда задач, которые можно разделить на два класса:

1. Задачи, решение которых достигается путем использования алгоритмов, однозначно определяющих решение в зависимости от исходных данных.

2. Задачи, допускающие множество решений при одинаковых исходных параметрах. Решение задач этого класса интерпретатор получает, либо основываясь на собственном опыте и интуиции, либо (что на практике происходит значительно реже) путем выбора решения из нескольких альтернативных вариантов.

Очевидно, что в процессе построения физической модели задачи второго класса превалируют над задачами, для которых существует однозначное решение. Поэтому одной из основных проблем формализации физической интерпретации является изменение соотношения между указанными выше задачами в пользу первого класса. Кроме того, необходимо предоставить интерпретатору возможность более обоснованного выбора решения из нескольких вариантов.

Математическое обеспечение компьютерных технологий интерпретации результатов геофизических исследований строится на основе определения характера интерпретационной модели и ее элементов. При интерпретации результатов петрофизических исследований можно рассматривать два типа моделей распределения физических свойств в плоскости горизонтального или вертикального разреза:

- модель с непрерывным изменением значений физических параметров, в которой отсутствуют границы между горными породами, характеризующимися разными значениями физических свойств;
- модель с дискретным распределением физических параметров при наличии четких границ между блоками горных пород, внутри которых физические свойства сохраняют постоянные значения.

При построении моделей первого типа задача интерпретатора заключается в определении функциональной зависимости, наиболее правдоподобно описывающей закономерности распределения физического параметра в заданной плоскости. Алгоритмы и программное обеспечение решения этой задачи разработаны автором данной статьи. Исследования показали, что такая обобщенная модель может в большинстве случаев быть использована для определения общей концепции при построении дискретных моделей.

Для построения моделей второго типа использована методика и математический аппарат, предложенный В. М. Сапожниковым [4] для интерпретации результатов рудного каротажа, которая реализована автором данной статьи в соответствующем программном обеспечении [5]. В качестве элемента модели рассматривается часть пространства с

равномерным распределением горных пород, характеризующихся повышенными и пониженными значениями исследуемого физического параметра. Модифицированные применительно к особенностям петрофизических исследований программы построения физических моделей разрезов скважин прошли успешно апробацию на ряде месторождений Урала и Средней Азии.

Наиболее сложной для формализации является задача построения дискретной модели в плоскости вертикального или горизонтального разреза. Оптимальной формой решения этой задачи, по мнению автора, является сочетание графических средств ПЭВМ с возможностью применения алгоритмов распознавания [2], позволяющих интерпретатору более обоснованно производить корреляцию элементов физических моделей разрезов соседних скважин.

Средства решения задач физической интерпретации объединены в систему автоматизированной обработки и интерпретации результатов рудной петрофизики (система GURZA) для персональных компьютеров типа IBM PC/XT/AT. При инициализации системы в ПЭВМ создается операционная среда, предоставляющая пользователю необходимый набор средств для построения моделей распределения физических свойств в пространстве. Система достаточно доброжелательна по отношению к пользователю и не требует от него глубоких знаний в области вычислительной техники.

Информационную основу системы составляет база данных файлового типа, состоящая из двух разделов.

- результаты полевых и лабораторных измерений;
- результаты обработки и интерпретации.

Первый раздел содержит файлы данных с результатами измерений физических свойств и результаты инклинометрии скважин. Данные объединяются в файлы по топографическим признакам (участок, месторождение и т. п.). Кроме результатов измерений физических свойств, в базу данных заносятся топографические привязки точек отбора образцов и в закодированном виде петрографическая информация. Способ кодирования определяется с помощью специально построенного тезауруса [3], текст которого также заносится в базу данных.

Второй раздел базы данных формируется в процессе эксплуатации системы и содержит информацию следующего вида:

- параметры гистограмм распределения физических свойств;
- параметры физических классов горных пород по разным свойствам;
- физические модели разрезов скважин;
- модели распределения физических свойств в плоскости вертикальных и горизонтальных разрезов.

Структура программного обеспечения системы GURZA изображена на рис. 1. Задачи, решаемые системой, объединены в четыре группы.

1. Процедуры обслуживания баз данных (формирование файлов, просмотр содержимого, выборка необходимых для работы или вывода на бумажные носители содержимого файлов).

2. Процедуры, поддерживающие решение задач статистического анализа данных, основной целью которого является разделение диапазона изменения физических свойств на физические классы и определение параметров этих классов путем декомпозиции функции распределения на унимодальные составляющие по методике, описанной в работе [6].

3. Процедуры, обеспечивающие построение физических моделей разрезов отдельных скважин. Предусмотрены два режима построения модели. В автоматическом режиме построение модели производится без участия пользователя после указания минимального размера элемента модели по оси скважины. В полуавтоматическом режиме пользователь

предварительно выделяет границы элементов модели на экране видеомонитора, после чего программа производит определение параметров каждого элемента. Значения параметров разреза представляют собой числовые характеристики физических и структурных особенностей выделенных элементов модели разреза. Описание параметров приведено в работах [4, 5].

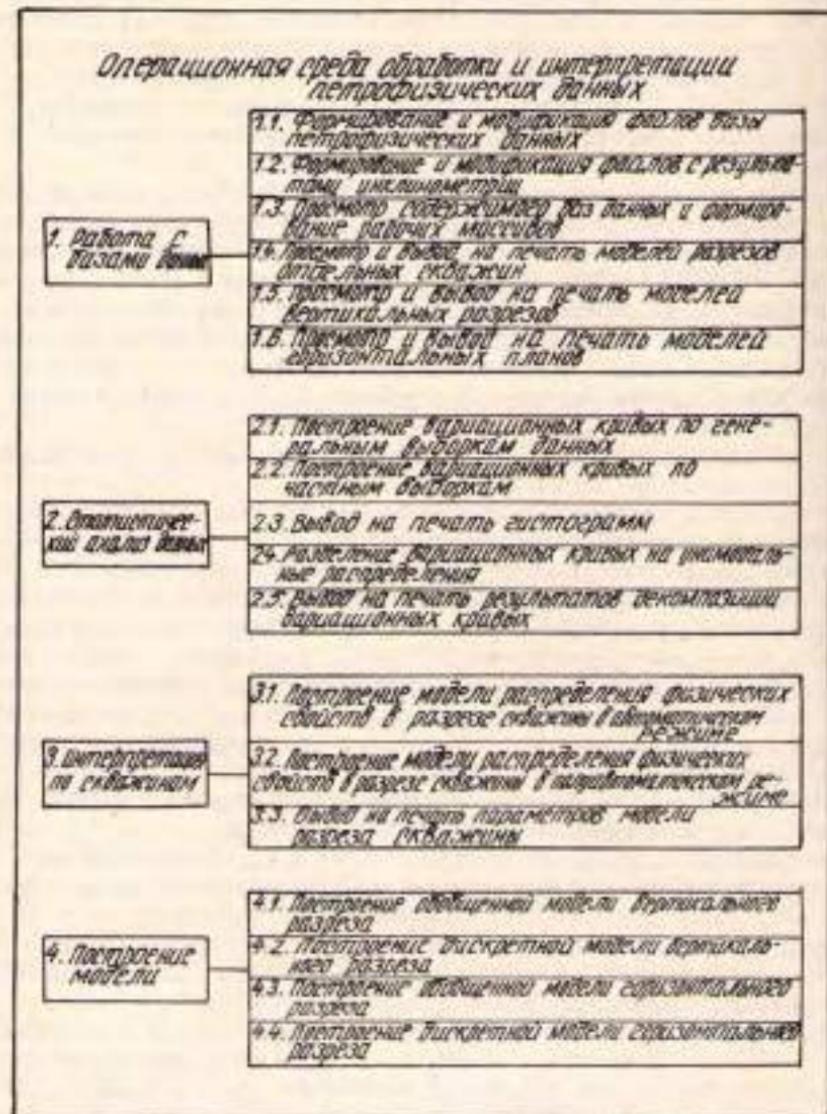


Рис. 1. Структура программного обеспечения автоматизированной системы интерпретации результатов геофизических исследований

4. Процедуры, обеспечивающие построение моделей распределения физических свойств в плоскости разреза. С помощью программ этой группы пользователь получает возможность построения моделей на экране графического видеомонитора, используя при этом дополнительную информацию по своему усмотрению.

На рис. 2, 3 приведены примеры, иллюстрирующие процесс построения модели распределения удельного электрического сопротивления в плоскости одного из разрезов Озёрного медноколчеданного месторождения.

дения на Южном Урале средствами программного обеспечения системы «GURZA». Измерения удельного электрического сопротивления образцов керна выполнены сотрудниками кафедры рудной геофизики Уральского горного института.

Статический анализ генеральной выборки, выполненный программами второй группы (2.1 и 2.4), позволил выделить 4 класса горных пород по удельному электрическому сопротивлению (см. рис. 2, а). Рис. 2, б иллюстрирует принцип формирования графического изображения элементов модели на бумажных носителях.

Для определения общих закономерностей распределения параметра в плоскости разреза его значения обработаны процедурой 4.1.

Результаты обработки, приведенные на рис. 3, а, указывают на главные особенности модели (наличие электропроводной зоны в обрамлении блоков с повышенными значениями удельного электрического сопротивления, ориентировка зоны в плоскости разреза).

Детализация обобщенной модели выполнялась путем построения модели масштаба 1 : 100000 и 1 : 5000. В данном случае масштаб модели определяет степень детальности изучения разреза отдельных

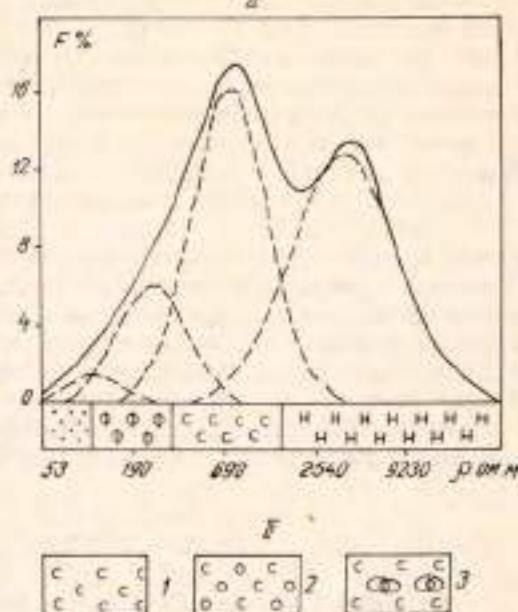


Рис. 2. Выделение физических классов горных пород по удельному электрическому сопротивлению:

а — график функции распределения в границы классов; б — примеры формирования графических изображений элементов модели (1 — породы третьего класса, 2 — равномерное распределение горных пород второго и третьего классов, 3 — преобладание горных пород третьего класса с включениями пород второго класса)

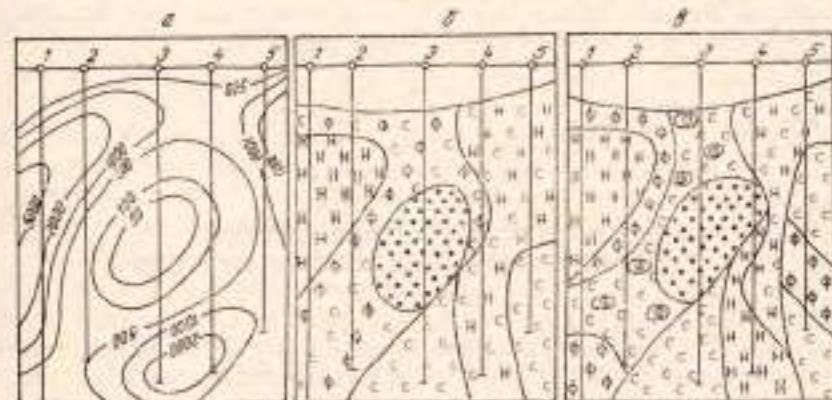


Рис. 3. Формирование модели распределения удельного электрического сопротивления в плоскости вертикального разреза:

а — обобщенная модель разреза; б — модель масштаба 1 : 10 000; в — модель масштаба 1 : 5000. Условные обозначения на рис. 2

скважин, а не изображение модели на чертежах. При построении модели масштаба 1 : 10000 использовались модели разрезов скважин, сформированные процедурой 3.1 при минимальном размере выделяемого элемента

100 м. Масштаб 1 : 5000 определяет минимальный размер выделяемого элемента 50 м. Построение моделей разрезов, изображенных на рис. 3, б и рис. 3, в, производилось с помощью процедуры 4.2. При построении модели масштаба 1 : 10000 корреляция отдельных элементов между соседними скважинами выполнялась с учетом особенностей обобщенной модели. Построение модели масштаба 1 : 5000 производилось с учетом особенностей модели масштаба 1 : 10000. Кроме того, надежность увязки элементов контролировалась определением в каждом случае коэффициента правдоподобия для всех элементов моделей соседних скважин.

Таким образом, автоматизация интерпретации петрофизических данных реализуется за счет создания детерминированных процедур определения физических классов, построения дискретных моделей разрезов скважин, определении характера обобщенной модели разреза. Важным условием является предоставление интерпретатору возможности корректировки результатов компьютерного анализа на всех этапах интерпретации и возможности выбора последовательности выполнения процедур. Кроме того, предлагаемая последовательность построения моделей разных масштабов (от мелких масштабов к более крупным) позволяет в некоторой степени сократить количество возможных вариантов решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вакромеев Г. С., Давыденко Д. Ю. Моделирование в разведочной геофизике.—М.: Недра, 1987.—192 с., ил.
2. Вычислительные математика и техника в разведочной геофизике: Справочник геофизика / Под ред. В. И. Дмитриева.—2-е изд., перераб. и доп.—М.: Недра, 1990.—498 с., ил.
3. Лонгадзе В. В. Программное обеспечение обработки геофизических данных.—Л.: Недра, 1982.
4. Саложников В. М. Использование диаграмм каротажа для петрофизического картированиярудовмещающих горных пород: Методика поисков и разведки глубоко залегающих рудных месторождений // Межвузовский научно-тематический сборник.—Свердловск, 1977. Вып. 1.—С. 11—19.
5. Серков В. А. Программное обеспечение интерпретации каротажа КС при петрофизическом картировании // Теория, методы интерпретации и математического моделирования геофизических полей.—Свердловск, 1991.—С. 70—76.
6. Сысиков С. С. Приближенный способ разделения полимодальных распределений // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений: Межвузовский научно-тематический сборник.—Свердловск, 1984. Вып. 11.—С. 77—82.

УДК 620.550

О. В. Ошкордин

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БУРЕНИЯ

Постепенный переход от сугубо эмпирической технологии разведочного бурения к рациональной, опирающейся на системные закономерности взаимосвязей различных элементов технологии, предполагает, в частности, строгое определение понятия «сложные условия бурения» — одного из ключевых понятий технологии разведочного бурения. Фиксация системных взаимосвязей в этом случае позволяет формализовать разветвленные цепи причинно-следственных связей, осуществлять компьютерное моделирование аномалий технологического процесса и прогнозировать последовательное развитие отклонений от нормального хода технологического процесса бурения, приводящих к технологическому браку, осложнениям и авариям.

Определим понятие «сложные условия» как такое состояніе геологического объекта (месторождения, инженерно-геологического блока, коллектора подземных вод), при котором ни одна из существующих типовых (стандартных) технологий не обеспечивает достижение необходимого технологического результата с приемлемой вероятностью.

Сложный в геолого-техническом отношении объект содержит в своем составе элементы, технологические свойства которых предъявляют к технологии бурения противоречивые, взаимоисключающие требования. Причем, это относится не только к характеристикам физического состояния горных пород, слагающих разрез, но и к задачам разведки, решаемым средствами бурения.

Так, например, проходка неустойчивых песчано-глинистых отложений или песчано-гравийных отложений большой мощности без особых осложнений осуществляется вибрационным способом бурения с опережающей обсадкой. Осложнение разреза наличием щебенистых кор выветривания с высоким содержанием крупного щебня крепких пород типа гранитов может преодолеваться переходом на вращательное механическое бурение с промывкой. Но в том случае, когда разведка ведется на золото, кассiterит или другое полезное ископаемое, представленное тяжелыми минералами, применение механического бурения с промывкой не допускается по условиям опробования.

Если при этом появляются еще и геолого-технические ограничения применения ударноканатного, наиболее универсального, способа (например, наличие плытунов в разрезе) или шнекового бурения, то решение задач разведки требует применения нестандартной, соответствующей только данному разрезу технологии бурения.

Условие сложности геолого-технических условий может быть в формализованном виде представлено в символах теории множеств структурной формулой

$$\left\{ \begin{array}{l} \{x_i\} = \{y_i^r\}_1 - (M\Phi_i) - \{y_i^r\}_n = \{z_i\}_1 n \\ \vdots \\ \{x_i\}_n = \{y_i^r\}_n - (M\Phi_n) - \{y_i^r\}_n = \{z_i\}_n \end{array} \right\} (\text{СБ}), \quad (1)$$

Здесь $\{x_i\}$; $\{x_i\}_n$ — множества задач разведки (анализов, замеров, наблюдений), решаемых средствами бурения при получении технологического результата $M\Phi_1$, $M\Phi_n$; $\{y_i^r\}$; $\{y_i^r\}_n$ — аналитические возможности результатов бурения $M\Phi_1$; $M\Phi_n$; $\{y_j\}$; $\{y_j\}_n$ — ограничения аналитических возможностей результата; $\{x_j\}$ — совокупность признаков геолого-технических условий бурения; $\{y_j^r\}_{1-n}$ — необходимые физические условия получения результатов $M\Phi_1$, $M\Phi_n$; $\{y_l^r\}$ — физические условия, ограничивающие возможность получения результатов; $\{z_i\}$ — совокупность признаков целевого назначения элементов средств бурения; $\{z_j\}$ — совокупность признаков области применения средств бурения; $(СБ)$ — эмпирическая функция совместимости элементов средств бурения (задается в форме матрицы).

Данное выражение является исходным пунктом анализа — оно содержит в неявном виде алгоритм прогноза и принятия технико-технологических решений, но требует наполнения реальным содержанием отношения между элементами технологической системы (характеристиками объекта, средств и результатов бурения), установления взаимосвязей между ними в количественной форме.

Технологической практикой разведочного бурения накоплен большой опыт, фиксирующий влияние физико-механических и инженерно-геоло-

его изтирание, устойчивость стенок скважины, их гидроизносостойкость или, наоборот, гидроизоляцию, состояние околотвёрдого пространства и возможность постановки различных геофизических, гидрогеологических, инженерно-геологических и других исследований.

Выявлено немало математических зависимостей, выражающих взаимосвязь тех или иных характеристик результата бурения от геологотехнических и технико-технологических условий бурения. Однако непосредственное использование частных математических зависимостей в комплексной математической модели сопряжено с рядом практических непреодолимых трудностей, пронстекающих из системного взаимовлияния элементов математической модели.

В принципе несложно оценить с приемлемой погрешностью прогнозируемую величину выхода керна при заданных условиях и соответствующим образом спроектировать режим бурения. Но если при этом требуется одновременно учсть и обеспечить технологическими средствами траекторию трассы скважины, состояние стенок разведочного пересечения и околотвёрдого пространства, то частная математическая зависимость теряет свое непосредственно практическое значение.

Формальная задача несколько облегчается тем обстоятельством, что для прогноза развития технологической ситуации в сложных условиях с целью оценки вероятности аварий, осложнений и технологического брака достаточно фиксировать только аномальные проявления, не затрагивая функциональных или стохастических зависимостей в полном объеме.

В этом смысле большой интерес для прогноза разнообразных аномальных явлений при бурении в сложных условиях представляет метод, основанный на так называемых устойчивых распределениях.

В. Т. Дубинчук (ВСЕГИНГео) в 1986 году на II Всесоюзной конференции по системному анализу изложил результаты своих исследований устойчивых распределений характеристик геологической среды [3]. В результате исследований им убедительно доказано наличие устойчивых, главным образом квазигиперболических (близких по форме к гиперболе) зависимостей при оценке проявленности (величины) самых разнообразных характеристик геологической среды: мощностей угольных пластов и объемов рудных тел, масштабов месторождений того или иного вида сырья и размеров обломочного материала в рыхлых отложениях. Исследования подобного рода не единственные, но в данном случае значение имеет широта охвата предмета исследования, выделение форм выражения устойчивых распределений и попытка связать их с классическими устойчивыми распределениями, используемыми для анализа других сложных естественных, технических и общественных систем (распределения Ципфа, Уиллиса-Лота, Лотка, Парето).

Мои личные наблюдения, результаты изучения характеристик геологотехнических условий на разных месторождениях полностью подтверждают выводы В. Т. Дубинчука.

Выявление устойчивых распределений характеристик геологической среды В. Т. Дубинчук предлагает производить в следующих формах.

Аллотропическая форма:

$$y(x) = A_i \cdot x^{\gamma_j},$$

где y и x — параметры геологического объекта, взаимосвязь между которыми подчиняется закону устойчивого распределения; A_i — коэффициент, получаемый в результате статистической обработки случайных замеров; γ_j — показатель степенной функции.

Аллотропическая форма позволяет, например, прогнозировать продолжительность пласта по его вскрытой мощности с той или иной долей вероятности для данного типа полезных ископаемых.

Частотная форма:

$$n(x) = A_1 \cdot x^y,$$

где n — частота проявления фиксированной характеристики x .

Прогноз мощности плавуна, возможный размер валунов в рыхлых отложениях, размер каверн, интенсивность клизажа, раскрытие трещин — эти и многие другие характеристики геологической среды эффективно прогнозируются на основе частотных распределений.

Вероятностная форма:

$$P(x) = A_2 \cdot x^y = \frac{n(x)}{N},$$

где P — доля объектов n , обладающих параметром x среди полной их совокупности N .

Ранговая форма:

$$x(r) = A_3 \cdot r^y,$$

где r — ранг объекта, обладающего свойством x .

Данная форма выражения устойчивых распределений позволяет определить место (ранг) характеристики определенной величины среди всего спектра характеристик.

Значение устойчивых распределений характеристик геологической среды в технологическом анализе разведочного бурения обусловлено тем обстоятельством, что аномалии технологического процесса бурения, свойственные сложным условиям и чреватые авариями, осложнениями и технологическим браком, имеют непосредственную причину в характеристиках геологического объекта. Величины мощности интервалов катастрофических поглощений и напорных плавунов, размеры зон кавернообразования и т. д. определяют выбор технологий и успех их реализации.

Выявление и количественная оценка вероятности проявления, а также масштабов и рангов возможных неблагоприятных в технологическом отношении геологических факторов является первой ступенью анализа, примененного к крупным объектам, где буровые работы в больших масштабах ведутся десятки лет. Примером может служить Дегтярский горнорудный район, где буровые работы ведутся более 200 лет, но постоянное обновление технологии бурения не позволяет накопить опыт, достаточный для предотвращения неблагоприятных технологических явлений — по настоящее время бурение в сложных разрезах Дегтярского горнорудного района сопровождается большим количеством аварий, осложнений и разнообразного технологического брака.

Вторым этапом, базирующимся на изучении устойчивых распределений характеристик района работ и использующим ту же методику целенаправленных статистических исследований той или иной формы, является выявление устойчивых распределений аномалий процесса бурения: характера и тяжести обрывов снаряда, прижогов коронок, их заливаний и случаев аномального износа, самозаклиниваний керна, распределение аварий и осложнений по видам и тяжести.

Результатом данного анализа является количественная оценка «веса» и вероятности проявления осложнений, аварий, а также обуславливающих их факторов.

При разработке методики комплексного прогноза развития технологических ситуаций в сложных условиях нeliшним является обращение

к опыту других сложных видов производственной деятельности, где успешное ведение технологического процесса определяется большим количеством нерегулируемых, а зачастую и невыявляемых факторов.

В мировой технологической практике известен метод профессора Исиакава (метод «рыбьей кости»), разработанный в Японии в середине 50-х годов для выявления причин и предупреждения брака в сложных технологиях, не поддающихся однозначному контролю (главным образом, при производстве сложной вычислительной и электронной техники) [2].

Разумеется, речь не идет о механическом перенесении методики из области производства вычислительной техники в бурение — речь идет лишь об использовании идеи. Трудно сказать, имеются ли какие-нибудь глубокие, коренные причины отказа от использования опыта технологии высшего уровня в бурении, но разумных оснований для этого не усматривается. Тем более, что в арсенале технолога имеется такой мощный инструмент, как вычислительная техника.

Метод заключается в построении экспертным путем цепи причинно-следственных связей от общего к частному. Первоначально выделяются факторы самого общего порядка, образующие «стволы» будущего дендрографа и получившие в методике Исиакава название «отцов». Методика предусматривает специальную процедуру экспертного опроса, но очевидно, что в разных технологиях эта процедура имеет специфику.

Далее к каждому «отцу» присоединяются его «дети», к ним — «внуки», к последним — «правнуки» и т. д. Построение дендрографа ведется до тех пор, пока не будет выделен внешний контур факторов — те конечные (элементарные) звенья цепей причинно-следственных связей, которые поддаются непосредственному регулированию и целенаправленное воздействие на которые позволяет в комплексе блокировать негативные явления, присущие буровым работам на данном объекте.

Самые разнообразные факторы: от величины температуры в рабочем помещении (если установлено ее влияние, например, на быстроту реакции оператора буровой установки, что имеет значение для предупреждения прижогов, развивающихся при алмазном бурении за 5—7 сек.), до значений главных параметров режима бурения — посредством схем Исиакава объединяются в единую сеть, строение которой характерно для данного объекта разведки и может анализироваться средствами вычислительной техники.

«Внешний контур» факторов технологического брака, осложнений и аварий служит основой для выбора технико-технологических решений, совместимых в одном процессе. Выбор решений, предупреждающих те или иные аномалии процесса бурения, технологической проблемой не является: предупреждение заполирования, чрезмерного износа или прижога коронок, предупреждение искривания скважин и т. д. обеспечивается известными технологическими средствами. Технологической проблемой в сложных условиях является комплексное совмещение решений, выбор интегральных действий, удовлетворяющих всему комплексу условий.

В технологической практике монтажа сложных конструкций известен так называемый «метод морфологического ящика», разработанный австрийским астрономом Цвилки и впервые примененный при монтаже сложных радиотелескопических систем [1].

Тот факт, что данный метод никогда не использовался в технологии разведочного бурения, не может служить основанием для отказа от него при разработке методик компьютерного анализа и прогноза развития технологических ситуаций в бурении.

Бурение в сложных условиях имеет принципиальное сходство с монтажом сложных конструкций по ключевому признаку: и в том и в дру-

том случае жесткое обеспечение одного параметра требований (монтажного и технологического) с неизбежностью усугубляет осложнение по одному или нескольким другим параметрам требований к результату работ.

Полная матрица технологической ситуации на объекте, построенная по методу Цвикки, образуется из отдельных строк-матриц аномальных явлений и содержит в своих ячейках факторы, необходимые для реализации этого аномального явления.

Факторы (критические значения режимных параметров, схемы реализации промывки и керно-шламоотбора в кодированном виде и т. д.) могут браться из схем Исиакава. Полная матрица технологической ситуации на объекте расписывается затем в Факторные цепи (удобнее всего эту операцию проводить с помощью компьютера): по одному фактору из каждой строки, начиная с верхней строки до нижней, выписываются в последовательную цепь. Затем, с помощью банка данных, построенного на основе выражения (1) и обрабатываемого по алгоритму, выводимому из этого условия, автоматически или экспертным путем подбираются технико-технологические решения, позволяющие одновременно блокировать все или часть неблагоприятных факторов, образующих данную цепь.

Таким образом выбираются совместимые технологические решения, в комплексе соответствующие комплексу задач и условий бурения на данном объекте.

При необходимости (при чрезмерно большом количестве анализируемых факторов) возможно их «укрупнение» по известному в статистике методу корреляционных плеяд.

Основу предложенной схемы технологического анализа составляет условие взаимосвязи системы характеристик, математическое выражение которого представлено формулой (1). Системная связь характеристик объекта, средств и результатов бурения дает возможность использовать известные формальные методики структурного анализа факторов и тем самым позволяет использовать в технологиях разведочного бурения опыт высокоразвитых технологий.

Предпринятая в данной статье попытка использования методологии системного подхода в технологическом анализе не является умозрительной или чисто теоретической — данная схема апробирована на ряде месторождений и по мнению участников опытно-методических работ, включая технологов-практиков, может служить основой комплексной методики прогнозирования технологического брака, осложнений и аварий в бурении.

Возможности, которые предоставляет технологу-буровику методология системного анализа и вычислительная техника, являются серьезным резервом повышения эффективности бурения, и они должны использоваться.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глинцев А. В. Прикладные вопросы квалитетрии.— М.: Изд-во стандартов, 1983.
2. Дружинин Г. В. Методыоценки и прогнозирования качества.— М.: Радио и связь.—1982.
3. Дубинчук В. Т. О применяемости предельных устойчивых распределений к описанию свойств геологических систем // Тезисы докладов 2 Всесоюз. конф. «Системный подход в геологии» — М.: МИИГ, 1986.— С. 100—101.

ОБЩАЯ, ИСТОРИЧЕСКАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 563.627.713

О. В. Богоявлensкая, Е. Ю. Лобанов

СТРОМАТОПОРАТЫ И ГЕЛИОЛИТОИДЕИ УРАЛЬСКОГО ПАЛЕОЗОЙСКОГО БАССЕЙНА

Строматопораты и гелиолитоиды (Стр. и Гел.) являются характерными представителями бентоса Уральского палеобассейна. Для того, чтобы более полно использовать эти группы в целях стратиграфии, необходимо более детально представить себе особенности стратиграфического распространения Стр. и Гел. в бассейне, их расселения, палеоэкологии.

На Урале конец рифея и венд совпадают с инверсией существовавшей до этого единой Урало-Тиманской геосинклинали, с регрессией морского бассейна и возникновением на ее месте обширной суши — невысокой возвышенности, которая была сильно снивелирована и простиралась от Пай-Хоя до Мугоджар. Морской бассейн существовал на месте современной Новой земли (алданский век) [16]. В ленское время Уральское море занимало южную часть современного восточного склона Урала. Никаких следов Стр. и Гел. или напоминающих их организмов в кембрийском бассейне Урала до сих пор не известно. Очевидно, обстановка заложения Уральской геосинклинали была крайне неблагоприятной для развития многих групп прикрепленного бентоса.

С раннего ордовика [16, 8] началось развитие собственно Уральской геосинклинали. Шельфовая зона Уральского бассейна, примыкающая к Восточно-Европейской платформе, непрерывно прослеживается с севера на юг, и здесь формируются мощные грубообломочные терригенные комплексы. Отмечается переход в восточном направлении к глубоководным сланцевым, подводно-вулканогенным и кремнистым комплексам. В среднем ордовике в западной шельфовой зоне терригенное осадконакопление постепенно сменяется карбонатным. Характерный пример этого замещения устанавливается на западном склоне Урала, в бассейне р. Серебрянки, где вскрывается разрез серебрянской серии, в составе целого ряда свит. В гаревской свите, которая представлена конгломератами, песчаниками и глинистыми сланцами, обнаружен прослой песчанистых доломитов, в котором установлены крупные ценостеумы строматопорат *Parksodictyon kayi* (Gall. et St. Jean) [7]. Это ископаемый биостром, протянувшийся вдоль берега среднеордовикового Уральского моря. Подобных строматопорат мы встречаем в северной Бет-пак-дале. Эти факты представляют большой интерес, так как бассейны Урало-Монгольского пояса соединяли Арктические и Тихоокеан-

ские бассейны. Возможно, именно Урало-Монгольские моря способствовали расселению строматопорат по акваториям планеты. В позднем карадоке-раннем ашгилле в Уральском бассейне появляются первые биогермы, образованные с участием Стр. и Гел. [2, 16, 24]. В этом временному интервале шельфовая зона Уральского бассейна продолжает расширяться, в ее пределах осуществляется карбонатно-терригенный режим осадконакопления.

В отложениях чердынского горизонта (средний ордовик, верхний нижний — низы среднего карадока) зафиксированы первые Гел.—Consergora angusta (Yanet). В отложениях тыштыльского и рассохинского горизонтов и их аналогов устанавливается, хотя и немногочисленный, но достаточно разнообразный в таксономическом отношении комплекс *Cystostroma concinnum* (Ivanov), *Stromatocerium definitum* (Ivanov), *S. ivanovi* Bogoyavl., *Stratodictyon platycystosum* Bogoyavl., *Ecclimadictyon geniculatum* Bogoyavl., *Clathrodictyon vormsiense* (Riab.), *Consergora angusta* (Yanet). В сурьянском горизонте ашгилла установлены Гел. *Acdalopora ivanovi* Yanet, *Plasmoporella convexotubulata* Kiaer.

К северу от описанной последовательности Среднего Урала, в пределах Приполярного Урала (р. Кожим) в аналогах рассохинского горизонта встречены *Acdalopora ivanovi* Yanet, *Granulina grandis* (Bond.), *Consergora angusta* (Yanet).

Стр. и Гел. ассоциируют с водорослями, ругозами, табулятами, ишанками. Уральский бассейн является своеобразным путем, соединяющим бассейны Северо-Атлантического пояса и Австралийского сектора Тихоокеанского пояса. Комплекс Стр. Уральского бассейна отличается от Сибирского, Северо-Китайского и Северо-Американского отсутствием *Labechiiidae*, *Tuvaechiidae* и *Aulaceratidae*. Представители рода *Tuvaechia* известны в Туве, в Казахстане, *Labechia* — только в Туве и Северной Америке [4]. Из Гел. *Acdalopora* и *Granulina* известны в пределах Урало-Монгольского пояса (Казахстан, Средняя Азия), *Plasmoporella* — полипровинциальный род, эндемичным для Уральского бассейна является *Consergora*.

По-видимому, бассейны Урало-Монгольского пояса (УМП) испытывали влияние Китайского и Сибирского бассейнов, в то время как собственно Уральский бассейн оставался несколько изолированным, в нем обитало много эндемиков, и видимо, он может рассматриваться как самостоятельный. Стр. и Гел. по-прежнему остаются обитателями шельфового мелководья; в глубоководных участках бассейна они не известны. Поздний ашгилл Стр. не охарактеризован, что связано с доломитовым режимом осадконакопления (резкое обмеление бассейна, образование лагун (?)). В ордовике Стр. заселяли только шельфовую область, в более глубоководных отложениях они не известны.

В раннем силуре [3, 15, 16] в Уральском бассейне выделялись западноуральская, шельфовая и относительно глубоководная восточноуральская зона. На шельфе Уральского моря развивается терригенно-карбонатное осадконакопление, причем карбонатное осадконакопление становится преобладающим. В лландоверийский век (шемахинское время) Стр. и Гел. обитают в мелководной шельфовой зоне, где встречаются *Labechia venusta* (Yavor.), *Clathrodictyon tenuiki* Nestor, *Stelodictyon prodigiale* Bogoyavl., *Plectostroma necopinatum* Nestor, *Propora conifera* Milne Edw. et Haime, *P. conferta vetula* Sok., *P. conferta tunicata* Sok.

Надо отметить, что в восточноуральской более глубоководной зоне возрастают масштабы вулканической деятельности (преобладают базальты), дно бассейна становится более расчлененным и сложным, появляются острова, с которыми связаны биогермы.

В семеновском горизонте глубоководной зоны установлены Рогора

conferta tunicata Sok., *P. conferta velula* Sok. и *Rotalites parvus* (Yanet). В венлоке (воронинское время) в шельфовой зоне распространены: *Eclimadictyon nikiforovae* (Yavor.), *E. tschernovi* (Riab.), *Simplexodictyon kyssuniense* (Riab.), *Eclimadictyon robustum* Nestor, *Stelliporella podolica* Bond. Распространены колючинарные, дендроидные и пластинчатые формы строматопорат, развивающиеся на прибрежном мелководье. По удалении от береговой линии закладываются рифогенные постройки, в образовании которых существенная роль принадлежит водорослям. Стр. практически отсутствуют, а Гел. представлены единичными колониями *Cylindrolites ramosus* (Yanet), *Farabites bonus* (Yanet). В глубоководной восточноуральской зоне на поднятиях сложно расчлененного дна распространяются многочисленные Стр., образующие различные сообщества (павдинское время). Стр. связаны с банками крупных двустворок (*Megalotus*). Они располагаются между раковинами, нередко обрастаю их. С банками двустворок связаны: *Eclimadictyon robustum* Nestor, *Gerronodictyon insicum* Bogoyavl., *Simplexodictyon kyssuniense* (Riad.), *S. pergratum* Bogoyavl. Стр. развивались в условиях формирования сложно построенных вулканогенно-осадочных толщ. В прослоях глинистых известняков среди туфов и туфопесчаников встречаются: *Eclimadictyon robustum* Nestor, *E. nikiforovae* (Yavor.), *E. explanatum* Bogoyavl., *Pseudolabechia pavdensis* Bogoyavl., *Geronomictyon insicum* Bogoyavl., *Simplexodictyon pergratum* Bogoyavl., *Hemiplasmopora insolens* (Yanet), *Astrilites confusus* Yanet et Loh., *Thaumatolites proporoidea* Yanet, *Paraheliolites decipiens* (M'Coy).

В елкинском горизонте, сложенном рифогенными известняками, устанавливаются разнообразные гел. *Helioplasmolites naliykinii* Chekh., *H. (?) cylindricus* Lobanov, *Innaporia crassitheca* Lobanov, *Farabites certus* Lobanov, *F. subbonus* Lobanov, *F. subsphaericus* Lob., *Thaumatolitella dubia* (Lobanov), *Coronalites endemicus* Lob., *Cylindrolites faustus* Lob., *C. ramosus* (Yanet), *Rotalites nuratensis* (Chekh.). Окоти-*tes spongodes* (Ldm.), *Neosibiriolites bonus* (Yanet) [14]. Колючинарные и пластинчатые формы ценостеумов Стр. свидетельствуют о том, что они развивались на участках поднятий морского дна, на отмелях. Ценостеумы Стр. несут следы сверлящих организмов (червей?), нередко рост ценостеумов на отдельных участках колоний прекращается в результате засыпания обломочным материалом. Уральский бассейн в раннем силуре имел, вероятно, связи с окраинными морями Русской платформы (Балтийский палеобассейн) и Сибири, хотя и ограниченные, так как количество общих видов незначительно. Сообщение осуществлялось через области шельфа и бассейны Арктического пояса. Относительно глубоководная восточноуральская область характеризуется большим эндемизмом Стр. и Гел., что связано со значительным расчленением дна. Что касается связей Уральского бассейна с более южными бассейнами УМП, то они не представляются достаточно ясными из-за слабой изученности Стр. этого уровня в Казахстане, Тянь-Шане. Стр. лландоверийского века в Тувинском бассейне имеют ряд общих видов с Балтийским бассейном; тувинские Стр. венлока достаточно эндемичны, они более сходны с сибирскими, чем с уральскими [6]. О связях Уральского бассейна с бассейнами Средней Азии (Центральный Таджикистан) говорит состав гел.: в том и другом бассейне присутствуют роды *Farabites*, *Ducdonia* (и близкий *Astrilites*), *Hemiplasmopora*, *Helioplasmolites*.

В позднем силуре в западной шельфовой зоне Уральского палеобассейна сохранился режим карбонатного осадконакопления [3]. На границе шельфовой зоны продолжает формироваться крупный барьерный риф; его фрагменты в современном эрозионном срезе прослеживаются от побережья Ледовитого океана до Мугоджар. Отметим сразу

же, что этот риф формировался в течение позднего силура и распался на отдельные органические постройки в конце эйфельского века. Основными рифообразователями здесь явились водоросли, кишечнополостные (табуляты, ругозы) распространены незначительно. Стр. практически не известны. Они вытеснены в прибрежно-мелководную зону, где образуют отдельные биостромы. В лудлове (кубинское время) биостромы образованы *Simplexodictyon kyssuniense* (Riab.), *S. simplex* Nestor, *Ecclimadictyon nikiforovae* (Yavor.). В конце лудлова значительно изменяется состав стр., хотя местообитание их остается прежним: *Clathrodictyon mohicanum* Nestor, *Plexodictyon savaliense* (Riab.), *Actinodictyon cf. mica* Bogoyavl., *A. flixibilis* Less., *Densastroma himmestum* (Riab.), *Gerronostroma indetum* Bogoyavl.

Восточноуральская глубоководная зона характеризуется на всем своем протяжении базальтовым подводным вулканизмом; карбонатное осадконакопление занимает подчиненное положение. Небольшие водорослевые постройки возникают на поднятиях морского дна (исовской горизонт). С водорослями ассоциируют Стр., табуляты, Гел., ругозы. Иногда в постройках преобладают водоросли, вытесняя Стр. Стр. представлены *Ecclimadictyon robustum* Nestor, *Gerronodictyon insicum* Bogoyavl., *Simplexodictyon kyssuniense* (Riab.), *S. perperum* Bogoyavl., *S. convictum* (Yavor.), *Stelodictyon iniquum* Bogoyavl., *Trigonostroma abruptum* Bogoyavl., *Stellopora simplex* Bogoyavl., *Syringostromella foliis* (Yavor.), *Propora salairica* Miron., *Duedonia lacer* (Yanet), *D. loburtsevae* Lobanov, *Thaumatolites issensis* Lob., *Thaumatolitella dubia* (Lob.), *Cylindrolites parallelus* Lob., *Khangailites absonus* (Yanet), *Okopites spongodes* (Ldm.). Следует отметить, что Гел. елкинского и исовского горизонтов близки по составу. Колонии Гел. в основном цилиндрические и массивные, характерные для рифовых фаций.

Если в елкинское время на восточном склоне Урала происходило образование рифа, то в исовское время в краевых частях рифа началось накопление обломочного материала. При этом исчезают *Ipparota*, *Coronalites*, *Rotalites*, *Helioplasmolites*, *Neosibiriolites*, уменьшилось количество видов *Cylindrolites*.

Одновременно с ростом рифогенных построек во владинах дна происходит накопление глинисто-карбонатных отложений (банковое время), где установлены *Clathrodictyella crassa* Bogoyavl., *C. issensis* Bogoyavl., *C. magna* Bogoyavl., *C. contorta* Bogoyavl., *C. turkestanica* (Less.), *Stellopora vasta* Bogoyavl., *Praediostroma praecox* Bogoyavl., *Plexodictyon latilaminatum* (Bogoyavl.), *P. savaliense* (Riab.), *Amnestostroma fedorovi* (Yavor.), *Heliolites repkiniae* Kov., *H. medinensis* Bond., *Helioplasma urupica* Bond., *Squameolites aksaragensis* Kov., *S. diademicus* (Chern.), *S. ospanovae* Lob.

В течение прижидола распределение Стр. и Гел. существенно не изменилось. В прибрежном мелководье западноуральской шельфовой зоны (зенидское время) распространялись биостромы *Clathrodictyella retroata* Bogoyavl., *Plexodictyon vaigatschense* (Riab.), *Gerronostroma concentricum* Yavor., *Parallelostroma tuberculatum* (Yavor.).

В относительно глубоководной восточноуральской зоне Стр. сообщества располагаются на поднятиях рельефа морского дна (Северный Урал). На отдельных изолированных участках в условиях накопления глинистых карбонатов (бобровское время) распространялись субцилиндрические Стр., образуя поселения типа амфиборовых лугов и небольшие биостромы. Амфиборовые луга образуются многочисленными, пеностеутами *Clathrodictyella turkestanica* (Less.), *C. magna* Bogoyavl., *C. retroata* Bogoyavl., *C. mica* Bogoyavl., *Stellopora grandessa* Bogoyavl., *S. tata* Bogoyavl., *S. podolica* Bogoyavl. В образовании биостромов участвуют *Densastroma podolicum* (Yavor.), *Gerronostroma concentricum*

Yavor., *G. magnificum* Bogoyavl., *Praeidiosstroma praecox* Bogoyavl., *Syringostromella subcylindrica* Bogoyavl., *S. brevis* Bogoyavl., *Parallelostroma parvum* Bogoyavl., *P. tuberculatum* (Yavor.), а также довольно многочисленные Гел.— *Dnestrites expectatus* Bond., *Okopites okopinensis* okopinensis Bond., *Kolongites kolongensis* Voulykh, *Pseudoplasmodora yavorskii* (Tchern.), *P. bella* Kov., *Farabites bonus* (Yanet), *Yanetella uralica* (Yanet) [12, 13]. В североуральском горизонте — в рифогенных фациях, где практически отсутствуют вытесненные водорослями Стр., Гел. многочисленны: *Heliolites tchernychevi* Bond., *H. arcuatus* Bond., *Okopites zhivkovichii* Voulykh, *O. insequens* (Bond.), *O. okopinensis* okopinensis Bond., *Dnestrites expectatus* Bond., *Pseudoplasmodora yavorskii* (Tchern.), *P. bella* Kov., *Farabites meandricus* Loh., *Yanetella uralica* (Yanet), *Pachyhelioplasma podolica* (Bond.) [12]. В позднем силуре создались более благоприятные условия для связей между бассейнами. В пржидолии появились общие роды и виды, которые позволяют сопоставлять отложения шельфовой и относительно глубоководной зоны Уральского бассейна (*Gerronstroma concemtricum* Yavor., *Parallelostroma tuberculatum* (Yavor.), отложения Уральского бассейна и бассейнов Русской платформы и Тянь-Шаня (*Densastroma*, *Clathrodictyella*, некоторые виды *Stellopora*). В относительно глубоководной зоне широким распространением пользуются субцилиндрические Стр., которые в платформенных бассейнах встречаются спорадически. Что касается Гел., то в Уральском бассейне в пржидолии появляются эндемики (*Yanelela*, *Kolongites*), увеличивается по сравнению с лудловским веком роль полипровинциалов (*Okopites*, *Dnestrites*, *Pseudoplasmodora*). Их присутствие указывает на более тесную связь уральского и казахстанского бассейнов. В течение девона Уральский бассейн существенно влиял на формирование эпиконтинентального бассейна Русской платформы и был с ним тесно связан [16]. В раннем девоне западноуральская шельфовая зона Уральского бассейна значительно расширилась к северу. В пределах шельфа отлагались известковые, доломитовые, реже терригенные мелководные осадки [5]. В ложковский век здесь развивались *Clathrodictyella ex gr. conforta* Bogoyavl., *Amnestostroma fedorovi* (Yavor.), *Stellopora intexta* (Yavor.). В более южных участках шельфа строматопоры сравнительно немногочисленны: это субцилиндрические *Stellopora intexta* (Yavor.). По некоторому удалению от береговой линии продолжает формироваться водорослевый барьерный риф, где спорадически развиты *Stellopora intexta* (Yavor.), *Columnostroma concinnum* (Yavor.). В пражское время обстановка в шельфовой зоне существенно изменилась. В более глубоководной восточноуральской части Уральского бассейна в раннем девоне интенсивно проявляется подводный вулканализм. Интересно отметить связь Стр. с подводными изолиниями лав основного состава на Среднем Урале. Ценостеумы Стр. отмечаются в полимиктовых песчаниках, формирующихся при разрушении лавовых потоков андезитобазальтового состава — это *Parallelostroma multiplexum* Bogoyavl., *Stellopora intexta* (Yavor.) (сарайинское время ложковского века). Одновременно с этим, по удалении от лавовых излияний на приподнятых участках дна формируются органогенные постройки типа биостромов (*Parallelostroma multiplexum* Bogoyavl., *P. scabrum* Bogoyavl.). Кроме того, происходит формирование водорослево-строматопоратовых биогермов, с которыми связаны *Bullatella tenuis* Bogoyavl., *Stellopora intexta* (Yavor.), *Parallelostroma scabrum* Bogoyavl., *P. macilentum* Bogoyavl., *Columnostroma cognatum* Bogoyavl., *Amnestostroma fedorovi* (Yavor.), *Syringostromella zintschenkovi* (V. Khalif.). *Coenellostroma tabulatum* Bogoyavl. На Среднем Урале, в бассейне р. Багаряк, сравнительно недавно установлены биогермы сарайинского горизонта с *Parallelostroma cf. multiplexum* и многочисленными Гел.: *Pseudoplasmodora conspecta*

Bond., *P. subdeciens* (Kov.), *Pachyhelioplasma rzonnickajae* Kim, *Heliolites kuznetskensis* Tchern. Начиная с саумского времени ложкового века и до конца раннего девона Стр. в восточноуральской глубоководной зоне бассейна участвуют в рифообразовании совместно с известьвыделяющими водорослями. Для саумского времени характерны *Bullatella tenuis* Bogoyavl., *Plectostroma orientale* Bogoyavl., *Auroriina primigenia* Bogoyavl., *Atelodictyon mirandum* V. Khalf., *Parallelostroma macilentum* Bogoyavl., *P. minusculum* Bogoyavl., *Columnostroma concinnum* Yavor., *C. minutum* Bogoyavl., *Heliolites kuznetskensis* Tchern., *Pachycanalicula nevjanensis* Yanet in Sok. В вижайское время пражского века видовое разнообразие и количество Стр. и Гел. резко сократилось: *Atelodictyon mirandum* V. Khalf., *Gerronstroma immemoratum* Bogoyavl., *Columnostroma concinnum* (Yavor.), *Helioplasma kolihai* Kette, Н. (?) *scheinensis* Lob., *Podolites chekhovochae* (Tong-dzuy).

Для тошемского времени характерны *Bullatella crassa* Bogoyavl., *Plecostroma compressum* Bogoyavl., *Lamellistroma improvisum* Bogoyavl., *Parallelopora orbis* Bogoyavl., *Squameolites rhombicum* Bond., *Voulykhiites crassiseptatus* Yanet et Lobanov, *Helioplasma kolihai* Kette, Н. (?) *scheinensis* Lobanov, *Podolites chekhovichae* (Tong-dzuy) [5]. Далее в направлении к Южному Уралу в относительно глубоководной зоне усиливается подводный вулканизм; рафогенные постройки здесь указываются, но Стр. и Гел. в них остаются мало изученными.

В раннем девоне сохраняется палеогеографическая связь бассейнов Средней Азии, Казахстана и Урала. Об этом свидетельствуют общие виды Гел.: *Pseudoplasmodora conspecta* Bond., *P. subdeciens* (Kov.), *Pachyhelioplasma rzonnickajae* Kim.

В среднедевонскую эпоху палеогеографическая обстановка коренным образом изменилась [16]. Уральский бассейн трансгрессировал за запад, в результате чего Восточно-Европейская платформа превратилась в эпиконтинентальный бассейн, по окраинам которого преобладали континентальные, прибрежные фации. В центральной части бассейна накапливались гипсы, каменная соль, доломиты. Кишечнополостные тяготеют к восточным областям Восточно-Европейского бассейна, тесно связанного с Уральским. Однако сведения о них отрывочны. В бийское время эйфеля отмечено развитие многочисленных субцилиндрических форм, что свидетельствует о довольно мелководных условиях — *Stellopora vesiculosus* (Ermakova), *S. alveolaris* (Ermakova) [10]. Более детальная картина развития среднедевонских Стр. рисуется при изучении Уральского бассейна. Западная шельфовая зона продолжает испытывать погружения, прерывающиеся кратковременными регрессиями. Здесь формируются терригенно-карбонатные и рафогенные отложения. В вязовское время на Среднем Урале Стр. обитали на отмелях в условиях привноса глинистого материала — *Stellopora aiensis* Bogoyavl., *S. stellula* Bogoyavl., *S. analoga* Bogoyavl., *S. barba* Bogoyavl. К концу вязовского времени в бассейне существуют такие пластичные ценостеумы *Gallowayia ripheia* Bogoyavl., *Clathrocoilona abeona* Bogoyavl. В северной части западноуральского шельфа (верховья Печоры) субцилиндрические формы распространены незначительно. В отложениях, синхроничных вязовскому времени, Стр. образуют биостромы, сложенные *Parallelopora similana* Bogoyavl., *Atelodictyon uralicum* Bogoyavl., *Stellopora vesiculosus* (Ermakova). Бийское время характеризуется развитием Стр. биогермов, которые распространялись по всей шельфовой зоне; комплекс Стр. богат и разнообразен: *Clathrocoilona abeona* Bogoyavl., *Simplexodictyon vinassi* Bogoyavl., *Atelodictyon amygdalooides* (Lec.), *A. incuborum* (Yavor.), *A. stellatum* Bogoyavl., *Gallowayia ripheia* Bogoyavl., *Tienodictyon elegantum* Bogoyavl., *Stellopora propingius* Bogoyavl., *S. exigua* Bogoyavl., *Flexiostroma sibiricum* (Yavor.).

Восточная более глубоководная область не была единой в своем развитии. На современном Среднем Урале развивались мелководные терригенно-карбонатные отложения; при этом происходили различные по длительности регрессии. Самый длительный перерыв в карбонатном осадконакоплении приходится на начало среднего девона. Этому перерыву соответствует бокситовая толща, в верхней части которой встречаются единичные субцилиндрические ценостеумы *Stellopora analoga* Bogoyavl., *S. barba* Bogoyavl. [1]. Выше бокситов залегает карпинский горизонт. Бокситы сменяются мелководными глинисто-карбонатными осадками, формировавшимися в условиях повышенного содержания сероводорода. В этих условиях развивались многочисленные субцилиндрические Стр.: *Stellopora analoga* Bogoyavl., *S. barba* Bogoyavl., *S. propinguis* Bogoyavl. Полусферические колонии встречаются довольно редко *Simplexodictyon grandis* (Yavor.), *Clathrocoilona aveona* Yavor., *Stramatopora praelonga* Bogoyavl., *Paralelopore similana* Bogoyavl. На изолированных поднятиях образовывались небольшие водорослевые биогермы, на склонах которых располагались редкие колонии Стр. и Гел. *Atelodictyon sp. indet.*, *Paralelopore similana* Bogoyavl. и довольно многочисленные Гел.: *Pachyhelioplasma kettnerovae* Kim, *Voulykhites crassiseptatus* Yanet et Lob., *Kolongites eximus* Lob., *Heliolites minimus* Cerri, *Pachycanalicula hamidulica* Kim, *P. vulgaris irregularis* (Tchern.), *P. schandensis* Dubat., *P. karscevae maxima* Lob., *Helioplasma (?) squameoformis* (Bond.), *H. (?) karpinskij* Lob., *Okopites* sp.

В окружающих биогермы относительно глубоководных погружениях отлагались терригенно-карбонатные илы, в которых Стр. встречаются исключительно редко — *Flexiostroma sibiricum* (Yavor.), *Atelodictyon uralicum* Bogoyavl. К концу эйфеля дно бассейна испытalo общее поднятие, что привело к развитию органогенных построек на хорошо прогреваемом мелководье (талтынский горизонт). Стр. образуют небольшие биогермы, в строительстве которых участвуют *Flexiostroma sibiricum* (Yavor.), *Atelodictyon incubonum* (Yavor.), *Stellopora spica* Bogoyavl., *S. plena* Bogoyavl., *S. similis* Bogoyavl., *Heliolites minimus* Cerri, *Pachycanalicula hamidulica* Kim, *P. dentata* Miron., *P. schandensis* Dubat., *P. vulgaris irregularis* (Tchern.). *Helioplasma (?) squameoformis* (Bond.). В конце раннего девона — в эйфеле увеличивается количество общих видов Гел. в Уральском и Кузнецком бассейнах, в то время как связи Уральского и Среднеазиатского бассейнов ослабевают.

В живетское время в эпиконтинентальном бассейне платформы Стр. мало известны [11]; в шельфовой зоне западноуральского бассейна отлагались карбонатные и карбонатно-терригенные илы. Тектоническая обстановка была крайне нестабильной; поднятия быстро сменялись погружениями, накопление карбонатных илов — терригенными осадками. Стр. были крайне немногочисленны: для чусовского времени характерны *Actinostroma stellatum* Nich., *Stachyodes singularis* Yavor., для чеславского *Actinostroma couvinense* Lec., *Stachyodes singularis* Yavor. Стр. и Гел. наиболее полно развивались в восточноуральской относительно глубоководной зоне. Северная часть восточноуральской зоны представляла собой мелководное хорошо освещаемое плато, которое было идеальным местом для развития органогенных построек — биогермов и окружающих их биостромов, образованных Стр. при участии Гел.: *Trupetostroma crassiiforme* Bogoyavl., *Tienodictyon zonatum* Yabe et Sug., *T. farum* Bogoyavl., *Flexiostroma sibiricum* (Yavor.), *Atelodictyon incubonum* Bogoyavl., *Amphipora regularis* Less., *A. ramosensis* Bogoyavl., *Helioplasma kaljaensis* Yanet et Lobanov, *H. bikbaevi* Lob., *H. (?) extrema* Lob., *Heliolites porosus* (Goldfuss), *Pachycanalicula opaca maxima* Lob., *P. tigra* V. Khali., *Podollites exiguis* Lobanov.

Иногда карбонатное осадконакопление прерывалось при общем поднятии, и тогда на обнаженной верхней поверхности органогенных построек отлагались бокситы (продукты переотложения коры выветривания островных поднятий, осложненных вулканитами). Эти перерывы были кратковременными, и накопившийся терригенный материал служил субстратом для органогенных построек, образованных вышеупомянутым комплексом Стр. и Гел.

В южноуральской части бассейна развитие Стр. происходило на фоне более интенсивного проявления вулканизма и распространения геминистых фаций. Стр. в этих условиях тяготеют к образованию органогенных построек, рост которых неоднократно прерывался до полного разрушения постройки. Рифостроителями являются *Bullatella polymorphum* Bogoyavl., *B. curiosa* Bogoyavl., *Bifariostroma bifarium* Nich., *B. colliculatum* Bogoyavl., *Atelodictyon communis* Bogoyavl., *Cathrocoilona finitiva* Bogoyavl., *Trupetostroma crassiforme* Bogoyavl., *Hermatoporella porosum* (Lec.), *H. varum* Bogoyavl., *Stachyodes singularis* Yavor. В среднем девоне усилились связи Уральского бассейна с бассейнами УМП (Салаирским, Тянь-Шанским), а также с бассейнами Западной Европы. Наибольший эндемизм сохраняется в глубоководной зоне, в пределах современного восточного склона Южного Урала.

В позднем девоне в Уральском геосинклинальном пояске усилились поднятия, расширились островная суши и шельфовая зона. Стр. в глубоководной зоне практически не известны. Они перемещаются в шельфовую зону и распространяются далее в эпиконтинентальный Восточно-Европейский бассейн. В шельфовой зоне Уральского бассейна устанавливается высокая подвижность дна, накопление то терригенных, то рифогенных осадков. Франзийский век начался с накопления кашмирской свиты (алевролиты, аргиллиты, бокситы, оолитовые железные руды). В кыновское и саргаевское время в шельфовой зоне проходило накопление карбонатных отложений, Стр. (кыновское время) образовывали разреженные биостромы — *Actinostroma densatum* (Lec.), *Hermatostroma perpolitum* Bogoyavl.

В саргаевское время Стр. слагали небольшие биогермы, сложенные *Actinostroma densatum* Lec., *Hermatostroma perpolitum* Bogoyavl., *Trupetostroma bassleri* Lec., *Stellopora pervesiculata* (Lec.). В раннефранзийское время в эпиконтинентальном бассейне платформы распространение Стр. не вполне изучено. В. С. Сорокин [21], характеризуя псковские отложения в бассейне р. Шелоны у г. Старая Русса, отмечает наличие в отдельных прослоях водорослевых и Стр.-водорослевых желваков; Стр. в водоросли обрастили раковины брюхоногих, створки брахиопод, известковые гальки, перекатывающиеся по дну. К сожалению, сборы в определение Стр. из псковских слоев в последнее время не проводились, и состав их остается неясным. В последующее чудовское время в бассейне формировались органогенные и органогенно-детритовые осадки, под которыми погребались остатки разнообразных беспозвоночных, в том числе и колонии Стр., пронизанные ходами илодов и широкими вертикальными норами роющих животных. Комплекс Стр. чудовских слоев установлен В. Н. Рябининым [19]. В. С. Сорокин определил его положение в разрезе и отнес к верхнечудовским, или риежупским слоям: *Atelodictyon trautscholdi* (Riab.), *Trupetostroma tuberculatum* (Riab.), *Hermatoporella batschiana* (Yavor.), *H. pskovensis* (Riab.), *H. scheloense* (Riab.), *Parallelopora longitubulata* (Riab.). В дубниковское время бассейн резко обмелел, мелководные морские отложения сменились лагунно-морскими (глины, гипсы, доломиты); комплекс бентоса резко обедняется Стр., что связывается с аномальной изменчивой соленостью и сильной замутненностью воды.

Среднефранзийские Стр. в основном тяготеют к платформенному бас-

сейну. В шельфовой, западноуральской, зоне образовались небольшие, в ряде случаев изолированные углубления, где отлагались глинистокарбонатные осадки с редкими поселениями брахиопод; Стр. встречаются исключительно редко, в конце среднефранского времени — *Tienodictyon katavense* (Riab.), *Novitella tschussovense* (Yavor.). В это время (средний фран) Стр. широко распространялись в платформенном бассейне; они установлены в юго-восточных и северо-западных его частях. На юго-востоке бассейна (рудниковско-алатырское время) на хорошо прогреваемом мелководье развивались субцилиндрические и дендроидные Стр., ценостеумы которых пронизаны многочисленными норами сверлильщиков. Ценостеумы устилали дно бассейна, как войлок, образуя сплошной покров: *Stachyodes costulata* (Lec.), *Stellopora rufis* (Lec.), *S. incompta* Dan., *S. prava* Dan., *S. gracilis* (Lec.), *S. laxeporifera* (Lec.), *Novitella culta* Dan. В лагунно-морских, порховских отложениях в западной части бассейна начала среднего франа, представленных мелководными оолитовыми известняками, встречаются *Atelodictyon trautscholdi* (Riab.), *A. tigris* (Yavor.), *A. schelonense* (Riab.), *A. porkchovense* (Riab.), *Anostylostroma karpinskiiense* (Yavor.), *Amphipora ratkensis* Riab. [17, 22]. В ценостеумах наблюдаются многочисленные следы сверления, поселения симбионтов (червей, табулят). В свинородское время бассейн превратился в гипсонасную лагуну. Стр. существовали в бассейне только в начале свинородского времени. Они (*Clathrocollona kuddebensis* Riab.) приурочены к прослойям известняков-ракушников. Осадки бургского бассейна характеризуются исключительной выдержанностью по площади и высокой карбонатностью. Отмечается существование в бургском бассейне двух Стр. биостромов (нижняя и верхняя Стр. поверхности, по Р. Ф. Геккеру [9]). В биостромах колонии располагаются очень тесно, благодаря чему вытягиваются вверх; на поверхности ценостеумов располагаются спирорбисы (Annelida), стелющиеся колонии вулупор (Tabulata). Биостромы образованы *Atelodictyon actinostromiforme* (Riab.), *Parallelopora heckeri* (Riab.), *Parallelopora heckeri* (Riab.), *P. socialis* (Riab.), *Amphipora ratkensis* (Riab.). Для альтовского времени В. С. Сорокин приводит комплекс Стр., тождественный бургскому. В конце среднего-позднем фране Стр. в западной части бассейна не известны.

В позднем фране Стр. в Уральском геосинклинальном бассейне тяготеют к узкой полосе шельфа, где они образовывали биостромы в начале позднего франа (усть-катаевское время) [22, 23]. Массивные колонии, образующие биостром — *Actinostroma densatum* Lec., *A. crassepilatum* Lec., *A. filitextum* Lec., *Tienodictyon katavense* (Riab.), *T. tschussovense* (Riab.), *Parallelopora longitubulata* Nich., располагаются на субстрате, образованном многочисленными субцилиндрическими Стр. *Stellopora mirifica* Bogoyavl., *S. desquamata* (Lec.), *S. laxeporifera* (Lec.), *S. inopinata* Bogoyavl., *Novitella divis* Bogoyavl., *N. tschussovensis* (Yavor.). Уже к концу усть-катаевского времени ценостеумы Стр. исчезают из шельфовой зоны западноуральского бассейна. До конца позднего девона на шельфе отлагались доломитовые илы, почти лишенные органических остатков (громяченская свита). В конце фаменского века вновь появляются ценостеумы Стр. *Labechia mougodjarica* Riab., *Rosenella miniarensis* Riab. [18, 22, 23]. Для Стр. этого уровня характерно присутствие многочисленных следов сверления, что свидетельствует о крайнем мелководье.

В прилегающем эпиконтинентальном бассейне платформы позднефранские Стр. тяготели к восточным областям. В воронежско-ливенское время Стр. участвуют в образовании органогенных построек типа биостромов и может быть небольших биогермов. Интересно отметить, что органогенные постройки образованы субцилиндрическими Стр.

Sellopora franca (Ермакова), *S. minima* (Ермак.), *S. obscura* Dan., *S. tenuis* Dan., *Novitella ignota* Dan., *Novitella crassa* Dan. Скопления цилиндрических Стр. служили субстратом для массивных колоний *Endictyon katavense* (Riab.), *T. tschussovense* (Riab.).

Усиление привноса терригенного материала в конце франского и в течение фаменского веков привело к исчезновению Стр. В северо-восточной части бассейна (Тимано-Печорский район) в позднефранское время [17, 20] отлагались карбонатные и терригенные осадки, участками существовали органогенные постройки (сирачайская свита): *Actinostoma clathratum* Nich., *Bifariostroma petrovi* (Riab.), *B. uchtfense* (Riab.), *Trupetostroma undata* (Riab.), *T. pseudotuberculatum* (Riab.), *microlaminatum* (Riab.), *T. pseudoundata* (Riab.), *Stellopora laxergerata* (Lec.), *S. pervesiculata* (Lec.). Комплекс Стр. ухтинских слоев сменился к сирачайским. Резкое обмеление бассейна, усиление привноса терригенного материала привело к исчезновению Стр. в бассейне. В фаменский век эпиконтинентальный бассейн Русской платформы чрезвычайно обмелел, в результате чего практически исчезли кишечнополостные.

Таким образом, в позднем девоне Стр. в течение франского времени селились в шельфовую зону, тесно связанную с эпиконтинентальным бассейном прилегающей платформы, благодаря чему облегчились связи между отдельными бассейнами. В начале карбона Стр. вытеснили в отдельные изолированные бассейны бывшей глубоководной зоны. Один из таких бассейнов располагался в верховьях реки Урал в районе хутора Поповский, где описаны изолированные колонии *Anostylostoma variabile* (Riab.).

Заключение

Стр. и Гел. появились в Уральском палеобассейне в среднем ордовике и завершили свое развитие в живете (Гел.) и на рубеже фамена и турне (Стр.). Впервые они установлены в отложениях шельфовой (западноуральской) зоны в виде изолированных колоний (разреженные биостромы), характерных для ордовика. Уже к концу ордовикового периода появляются биогермы, в строении которых участвуют как Стр., так и Гел. Эти группы продолжали развиваться из шельфа, будучи тесно связанными с биогермами и биостромами, начиная с лландовери и кончая фаменом. Они практически не участвуют в формировании барьерного рифа, ограничивающего западноуральский шельф, начиная с венлага и до конца эйфеля. Более глубоководную, восточноуральскую, зону Гел. начинают «соскрывать» с лландовери, а Стр.— с венлагом. В глубоководной зоне они также тяготеют к более приподнятым участкам дна, образуя органогенные постройки, начиная с венлага и кончая живетским веком. Интересно отметить, что каждая группа в своем развитии проходит определенный цикл от одиночных колоний, первые появившихся в бассейне через биостромы и биогермы вновь в одиночным колониям (Стр. завершили этот цикл в фамене шельфовой зоны, Гел.— в живете в глубоководной зоне).

Начиная с эйфеля, Стр. постепенно заселяют прилегающий к западу эпиконтинентальный бассейн платформы. Несмотря на сложную историю развития бассейна, по Стр. и Гел. устанавливаются определенные этапы развития фауны, дающие возможности для корреляции. Вместе с тем Стр. и Гел. в рифогенных комплексах меняются медленно и в пределах смежных ярусов нередко сохраняется родовой состав при полном обновлении видового состава.

Начиная с ордовика, Уральский бассейн является тем проливом, который через Арктический пояс соединялся с морями Русской и Си-

бирской платформы, а также с более южными бассейнами УМП; сообщение происходило через шельфовые области, в то время как в более глубоководных частях бассейна развивались эндемичные комплексы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богоявленская О. В. Строматопорондес // Кинчечнополостные и брахиоподы юрских отложений Урала / Бреэль М. Г. и др.— М.: Недра, 1972.— С. 24—43.
2. Богоявленская О. В. Ордовикские строматопорондес // Палеонтол. ж.— 1973.— № 4.— С. 19—27.
3. Богоявленская О. В. Силурийские строматопорондес Урала.— М.: Наука, 1973.— 96 с.
4. Богоявленская О. В. Ордовикские и силурийские лабекинды Тувы // Палеонтол. ж.— 1971.— № 3.— С. 18—26.
5. Богоявленская О. В. Некоторые строматопорондес из раннедевонских отложений восточного склона Урала // Новые материалы по палеонтологии Урала: Тр. Ин-та геол. геохим. УНЦ.— Свердловск, 1977, вып. 128.— С. 13—31.
6. Богоявленская О. В. Новые раннесилурийские представители семейства *Clathrodictyidae* Kühn // Записки Лен. горн. ин-та, т. 107.— 1986.— С. 11—17.
7. Богоявленская О. В., Лобанов Е. Ю. К познанию древнейших строматопорат // Ископаемые проблематики СССР / СО АН СССР, Ин-т геол. и геофиз., Тр., вып. 783. М.: Наука, 1990. С. 76—87.
8. Богоявленская О. В., Лобанов Е. Ю. Ордовикские строматопораты и гелиолитондес (морфология, родовой состав, стратиграфическое и палеогеографическое распространение) // Уральский горный ин-т.— Екатеринбург, 1992.— 124 с.— Деп. в ВИНТИ 7.07.92 № 2174—В92.
9. Геккер Р. Ф. Тафономические и экологические особенности фауны и флоры главного девонского поля.— М.: Наука, 1983.— 144 с.
10. Ермакова К. А. Некоторые виды кинчечнополостных девона центральных и восточных областей Русской платформы // Тр. Всесоюз. и.-и. ин-та геол. нефт.— 1960, вып. 6.— С. 69—81.
11. Курбанин Ф. Я. Кинчечнополостные старооскольского горизонта юга ТАССР // Тр. Казаск. геол. ин-та, 1968, вып. 15.— С. 272—297.
12. Лобанов Е. Ю. Значение гелиолитондес силура Урала для биостратиграфии // Тезисы докл. XI Уральской конференции молодых геологов и геофизиков.— Свердловск, 18—20 февраля 1991 г.— С. 13—14.
13. Лобанов Е. Ю. Палеогеографические особенности развития гелиолитид силура Урало-Монгольского поля // Ископаемые органогенные постройки в древние кинчарии. Тезисы докл. 7-го Всес. симп. по ископ. кораллам и рифам. Свердловск, 10—16 июня 1991 г.— С. 77—79.
14. Лобанов Е. Ю. Гелиолитиды силура восточного склона Урала // Уральский горн. ин-т.— Екатеринбург, 1991.— 42 с.— Деп. в ВИНТИ 25.12.91, № 4780—В91.
15. Лобанов Е. Ю. Гелиолитондес и кетитиды верхнего силура и девона Урала // Уральский горн. ин-т.— Екатеринбург, 1992.— 68 с.— Деп. в ВИНТИ 5.05.92, № 2172—В—90.
16. Ронов А. Б., Ханин В. И., Сеславинский Н. Б. Атлас литолого-палеогеографических карт мира. Поздний докембрий и палеозой континентов.— Л.: Наука, 1984.— С. 5—73.
17. Рябинин В. Н. Девонские строматопорондес Тимана // Изв. Всес. геол.-развед. объедин.— 1932.— Т. 11, вып. 58.— С. 1—16.
18. Рябинин В. Н. О верхнедевонских строматопорондесах // Изв. Всес. геол.-развед. объедин.— 1932.— Т. 11, вып. 76.— С. 1125—1133.
19. Рябинин В. Н. Строматопорондес Главного девонского поля // Флува Главного Девонского поля.— М.-Л.: Изд. АН СССР, 1941.— С. 85—113.
20. Рябинин В. Н. Верхнедевонские строматопорондес Тимана // Тр. Всес. г.-и. геол.-развед. ин-та (и. с.), 1955, вып. 90.— С. 5—39.
21. Сорокин В. С. Этапы развития северо-запада Русской платформы во франском веке.— Рига: Зинште, 1978.— 282 с.
22. Яворский В. И. Некоторые девонские *Stromatoporoidea* из окраин Кузнецкого бассейна, Урала и других мест // Изв. Всес. геол.-развед. объедин.— 1931.— Т. 1, вып. 94.— С. 1387—1415.
23. Яворский В. И. Stromatoporoidea Советского Союза // Тр. Всес. геол. ин-та.— 1955.— Т. 8.— С. 3—168.
24. Янет Ф. Е. Новое о табулитах и гелиолитондес ордовика западного склона Урала // Новые материалы по палеонтологии Урала, вып. 128.— Свердловск: УНЦ АН СССР, Ин-т геол. и геофиз., 1977.— С. 31—43.

В. Т. Горожанкин

**ТОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ
И ИХ СТРУКТУРНЫЕ ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ,
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Деформация земной коры рассматривается исследователями с разных позиций. В литературе достаточно хорошо освещены контракционная гипотеза и противоположная ей гипотеза расширяющейся Земли; гипотезы, базирующиеся на исключительной роли в формировании структуры земной коры внутренней энергии Земли (пульсационная гипотеза и гипотеза «тектоники плит») или только планетарных сил. Предпринятые в последние десятилетия исследования горизонтальных движений по разломам в различных регионах нашей страны и за рубежом вскрывают ряд закономерностей в кинематике и ориентировке разломов, позволяющих с большой уверенностью определить источники тектонических сил, полнее и эффективнее использовать структурные критерии для локального прогноза и поисков полезных ископаемых.

Специальными исследованиями, а также при составлении обзорных геологической, тектонической карт и карты разломов А. В. Пейве [5], А. И. Суворовым [6], А. Л. Яншиним [7] и др. установлено, что для большинства разломов характерны сдвиговые смещения блоков земной коры, обычно развивающихся длительно и в одинаковом направлении. Амплитуда смещений по таким сдвигам в некоторых случаях измеряется десятками километров. Во фронтальных частях сдвигающихся блоков часто развиваются смещения по поверхности, близким к горизонтальным. Тангенциальные напряжения и движения в земной коре, по мнению А. Л. Яншина [5] и ряда других ученых-исследователей, возникают как механическая реакция земной коры на вращение Земли, изменение скорости этого вращения и положения оси вращения. После-дующее изучение горизонтальных движений по разломам привело к выявлению во многих регионах (Шотландия, Центральная Европа, Урал, Кавказ, Казахстан и Средняя Азия, Саяно-Байкальская горная область и др.) правосторонних смещений по разломам северо-западного простирания и левосторонних смещений по разломам северо-восточного простирания, отвечающих южнонаправленному действию тангенциальных сил.

На Среднем и Южном Урале достаточно определено обозначились разрывные нарушения, все основные разломы которых выделены при средне- и крупномасштабном геологическом картировании, во многих случаях вскрыты карьерами, буровыми скважинами и пересечены Свердловским, Тараташским и Троицким профилями глубинного сейсмического зондирования (рис. 1, 2). По времени образования, глубине распространения и кинематике они являются долгоживущими рассекающими земную кору взбросо-сдвигами с правосторонней южно- и юго-восточнонаправленной горизонтальной составляющей соответствен-но у разломов меридионального (Мурзинский взбросо-сдвиг) и северо-западного простираний (Михайловский, Бардымский, Дегтярский взбросо-сдвиги и др.) и с левосторонней юго-западнонаправленной горизонтальной составляющей у северо-восточных разломов (Верхнесетский, Башневогорский, Абестовский, Челябинский взбросо-сдвиги и др.). Направление горизонтального смещения по разломам определяется по асимметричному строению приразломных складок, по линейным текстурам течения в интрузивных и метаморфических комплексах и по сопря-

жению с разломами первого, второго и более высокого порядков. Например, у Дегтярского взбросо-сдвига правосторонняя юго-восточноСеверо-западная горизонтальная составляющая определяется по сопряжению с Верхнеувинским, Верхисетским и Вишневогорским взбросо-сдвигами, смещители которых падают к северо-западу; по наклонным и опрокинутым складкам сибирско-ильменогорского метаморфического комплекса, слагающего висячее крыло на юго-восточном фланге разлома. Основные разломы, как правило, являются границами различных структурно-формационных зон, и поэтому определение амплитуды горизонтальных перемещений по ним представляет определенные трудности.

Разломы с одинаковым простирием и кинематикой, вероятно, будут характеризоваться и одинаковым азимутом и близкими по значению углами падения смещителей. Элементы залегания основных разломов рассматриваемого региона свидетельствуют, что такая взаимосвязь между кинематикой, простирием, азимутом и углом падения существует. Взбросо-сдвиги северо-западного и меридионального простирий падают к северо-востоку и востоку, у северо-восточных взбросо-сдвигов падение на северо-запад. При изменении простирия от меридионального до широтного угол падения разломов изменяется от вертикального до пологого ($35-40^\circ$) наклона [2].

Основные разломы в большинстве случаев служат, как уже отмечалось, границами различных структурно-формационных зон и

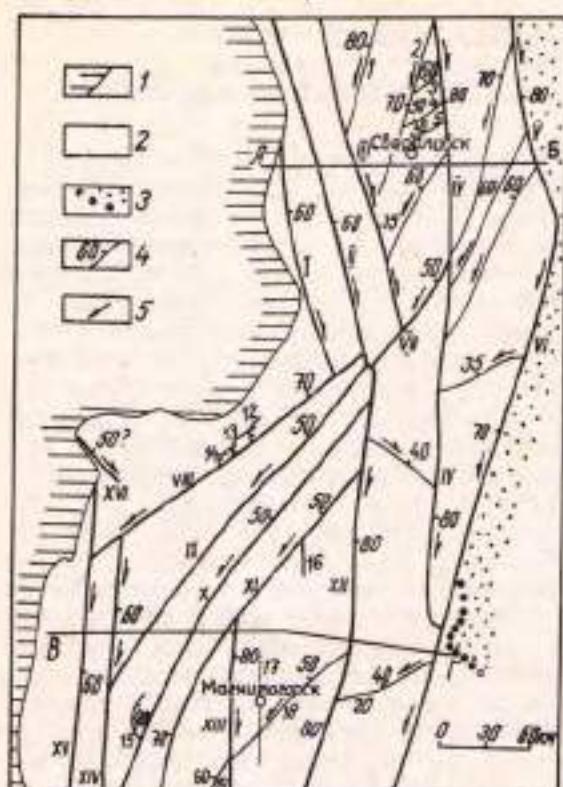


Рис. 1. Карта основных разломов Среднего и Южного Урала

1 — восточная окраина Русской платформы и Предуральского прогиба; 2 — Уральская складчатая система; 3 — область сплошного развития мезозойских и кайнозойских отложений; 4 — взбросо-сдвиг с указанием направления и угла падения смещителя; 5 — направление горизонтальной (сдвиговой) составляющей.

Разломы первого порядка (обозначены римскими цифрами): I — Махаллинский, II — Бирдымский, III — Дегтярский, IV — Мурзинский, V — Каменский, VI — Чебарчинский, VII — Вишневогорский, VIII — Бакало-Саткинский, IX — Зорятульский, X — Верхнеувинский, XI — Североуральтауский, XII — Карабашский, XIII — Кизильский, XIV — Эильмердинский, XV — Карагашский, XVI — Карагатуский. Разломы второго и третьего порядков (обозначены арабскими цифрами): 1 — Верхнеувинский, 2 — Верхисетский, 3 — Первомайский, 4 — Молнетинский, 5 — Пышминский, 6 — Утиуский, 7 — Абсолютовский, 8 — Карабалынский, 9 — Песчаный, 10 — Ескульский, 11 — Непригинский, 12 — Чулковский, 13 — Сорокинский, 14 — Суленинский, 15 — Южноувининский, 16 — Учалинский, 17 — Магнитогорский, 18 — Агаповский, 19 — Худолазовский, 20 — Кудиновский.

ограничивают площади распространения осадочных, вулканогенных и интрузивных пород. Зоны разломов имеют мощность от нескольких сот метров до 5-7 км и выражены, главным образом, интенсивным рассланцеванием, милонитизацией нарушенных пород, серпентинитовым меланжем. В зонах разрывных нарушений залегают линзо- и плитообразные тела серпентинитов, пород основного, среднего и кислого составов, кварцевые жилы, зоны гидротермально измененных пород, контактово-

метасоматические и гидротермальные рудные залежи железа, меди, никеля и других металлов, а также асбеста и талька. Висячие крылья сбросо-сдвигов наиболее раздроблены и поэтому более проницаемы для восходящих гидротермальных растворов и более благоприятны для формирования рудных залежей. Наиболее рудонасыщенными являются участки сопряжения навстречу падающих разломов. Это положение геологов является общизвестной истиной, но в свете выявленных закономерностей в ориентировке сместителей основных разломов приобретает существенное поисковое и прогностическое значение, так как позволяет определять более конкретные перспективные площади.

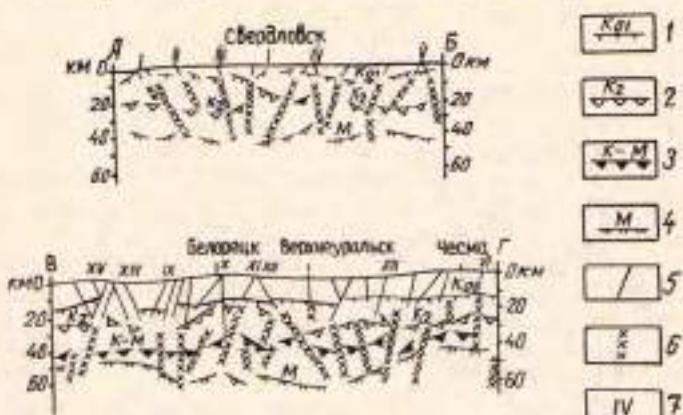


Рис. 2. Разрезы земной коры по профилям ГСЗ: А — Б — Свердловский профиль, по Дружинину В. С. и др. [4]; В — Г — Троицкий профиль, по Автонееву С. В. и др. [1].

Границы раздела основных слоев земной коры по геофизическим данным: 1 — поверхность кристаллического фундамента, 2 — поверхность базального слоя, 3 — верхняя граница перехода коры — верхней мантии, 4 — поверхность Мокоровичта, 5 — разрывные нарушения в верхней части разреза, 6 — глубинные разломы — зоны нарушения сейсмических границ, 7 — римскими цифрами обозначены разломы первого порядка (см. рис. 1).

Линзо- и платообразные интрузивные, метасоматические и гидротермальные (в том числе и рудные) тела, залегающие в зонах разломов, имеют элементы залегания преимущественно такие же, как и имеющие их зоны. Но нередки случаи, когда вышеперечисленные призматические образования, располагающиеся в оперяющих разрывных нарушениях висячего крыла, падают навстречу основному разлому (Спасская и Успенская зоны разломов в Центральном Казахстане, Каменская зона разломов в Енисейском крае и др.).

Крупные массивы интрузивных пород во многих случаях характеризуются асимметричной формой залегания и ориентировкой контактов, близкой к закономерностям ориентировки основных разломов. Это может объяснить тем, что, во-первых, внедрениемагмы и становление интрузивного массива происходило в условиях действия тех же тектонических напряжений, при которых формировались и разломы, и, во-вторых, первью ролью разломов. Так, Верхисетский гранитоидный массив площадью около 1800 км² имеет в плане клиновидную форму северо-восточного простираия (рис. 3). В южной его части сходящиеся контакты, имея северо-западное и северо-восточное простираия, падают навстречу друг другу, под массив. В северной половине массива простирание северо-западного контакта изменяется на северо-восточное, а направление падения с северо-восточного на северо-западное, в сторону от центра массива. Северный контакт субширотного простираия полого погружается к северу. В последнем случае ширина экзоконтактовой зоны

контактово-метасоматического и гидротермального изменения пород с рудной минерализацией составляет около 2 км и резко сокращается (до нескольких метров) на остальных участках.

Аналогичная закономерность отмечается у Адуйского, Каменского, Рефтинского и других массивов, расположенных восточнее Верхисетского массива. Первые два массива, имеющие по длине оси северо-западнее простирание, круто погружаются на северо-восток. Рефтинский

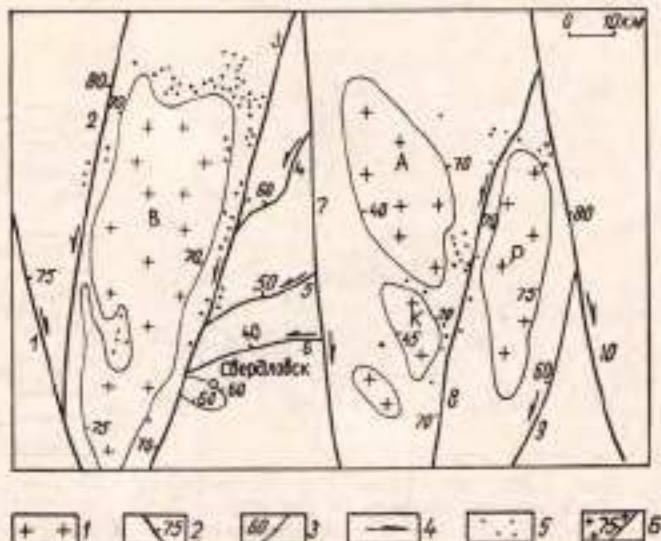


Рис. 3. Размещение гидротермальных месторождений и проявлений в районе Верхисетского, Адуйского, Каменского и Рефтинского гранитоидных массивов:

1 — гранитоиды, 2 — избросо-сдвиги первого порядка с указанием направления и угла падения, 3 — избросо-сдвиги второго и третьего порядков с указанием направления и угла падения, 4 — напраление горизонтального смещения по разлому, 5 — гидротермальные месторождения и проявления, 6 — направление и угол за-дания интрузивного контакта.

Буквами обозначены гранитоидные массивы: А — Адуйский, В — Верхисетский, К — Каменский, Р — Рефтинский.

Цифрами обозначены избросо-сдвиги: 1 — Дегтярский, 2 — Верхисетский, 3 — Верхисетский, 4 — Пермоманский, 5 — Мончегорский, 6 — Пышминский, 7 — Муравский, 8 — Асбестовский, 9 — Карабольский, 10 — Каменский.

же гранитоидный массив при северо-восточном простирании лежит на северо-запад. Вся территория, расположенная в зоне схождения, навстречу падающих этих интрузивных массивов и рассекаемая Асбестовским избросо-сдвигом, характеризуется высокой плотностью выявленных гидротермальных месторождений и проявлений полезных ископаемых (см. рис. 3). Признаки рассматриваемых закономерностей в зависимости от степени изученности площадей обнаруживаются у многих интрузивных массивов Урала. Убедительным примером может служить группа Турынских скарновых медно-магнетитовых месторождений, расположенная в северо-восточном обрамлении Ауэрбаховского гранитоидного массива. Круглогорское магнетитовое месторождение, за-легающее в северо-западной экзоконтактовой зоне одноименного габроидного массива и др.

Ранее эти же закономерности в кинематике и ориентировке основных разломов, асимметричном строении интрузивных тел и размещении месторождений и рудопроявлений были отмечены нами в Енисейском крае [3]. Подтверждение рассмотренных закономерностей следует ожидать в Казахстане, Средней Азии и других регионах, где уже к на-

появившему времени определены смещения, правосторонние по разломам северо-западного простирания и левосторонние по северо-восточным разломам.

Таким образом, кинематика и ориентировка основных разломов, симметричная форма секущих интрузивных массивов свидетельствуют о том, что формировались они при существенном влиянии южнонаправленных тангенциальных сил и отражают характер горизонтальных движений земной коры.

Установленные закономерности ориентировки основных разломов и секущих контактов интрузивных массивов и известные положения размещения контактово-метасоматических и гидротермальных месторождений и рудопроявлений позволяют выделять следующие наиболее перспективные площади на выявление полезных ископаемых: тектонические и межинтрузивные клинья, образуемые на встречу ладающими разломами, разломом и интрузивным контактом, интрузивными контактами, и экзоконтактовые зоны северо-западного, северного, северо-восточного и восточного обрамления интрузивного массива. Кроме того, же структурные закономерности дают возможность полнее использовать для локального прогнозирования геофизические материалы и аэро- и космоснимки, при геологической интерпретации и геологическом дешифрировании которых выделяемые разломы и интрузивные массивы из-за ограниченных возможностей названных методов, как правило, трассируются и оконтуриваются без указания их элементов залегания; эффективнее проводить геологосъемочные и поисковые работы и повысить качество создаваемых геологических карт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автонеев С. В., Дружинин В. С., Кашубин С. И. Глубинное строение Южного Урала во Троицком профиле ГСЗ // Советская геология — 1988. — № 7. — С. 38—40.
2. Горожанин В. Т. Новое о закономерностях ориентировки основных разломов Среднего и Южного Урала // Докл. АН СССР. — 1991. — Т. 318. — № 6. — С. 1425—1429.
3. Горожанин В. Т., Локтионов А. А. Структурная позиция и особенности строения Партизанского рудного узла (Енисейский кряж) // Геология, поиск и разведка месторождений рудных полезных ископаемых. — Иркутск: ИГИ, 1984. — С. 24—29.
4. Дружинин В. С., Рыбаков В. М., Соболев И. Д. Связь тектоники и магматизма с глубинным строением Среднего и Южного Урала по данным ГСЗ. — М.: Наука, 1986. — 157 с.
5. Пейве А. В. Горизонтальные движения земной коры и принцип унаследованности // Геотектоника. — 1965. — № 1. — С. 30—37.
6. Суворов А. И. Закономерности строения и формирования глубинных разломов // ГИН АН СССР. 1986. Вып. 179. — 361 с.
7. Яшин А. Л. Геологическое строение Евразии // Геотектоника. — 1965. — № 5. — С. 7—35.

В. А. Душин

ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ПОЗДНЕРИФЕЙСКОГО И РАННЕПАЛЕОЗОЙСКОГО
ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ
ЗАПАДНОГО СКЛОНА СЕВЕРА УРАЛА

На Урале изучение закономерностей эволюции вулканализма и связанного с ним оруденения остается весьма важной проблемой. При этом особую актуальность играют вопросы, связанные с разработкой палеовулканологических критериев прогнозирования. Последние очень остро стоят для относительно слабо изученного Уральского Севера в связи с тем, что на сегодня устанавливается высокая перспективность этой территории в отношении запасов полезных ископаемых.

Геологическое строение западного склона севера Урала, принадлежащего палеоконтинентальному сектору, отражает сложную историю его развития. В докембрии и фанерозое эта территория явилась ареной интенсивного вулканализма конструктивного и деструктивного типов с широким развитием рифтовых, островодужных (юных и зрелых) и окраинно-континентальных палеогеодинамических обстановок [2].

Установлено, что наиболее ранние продукты эфузивного магматизма ранне-позднерифейского возраста обязаны проявлению метабазальт-долеритовой и трахибазальт-базальтовой формаций, отвечающих этапу внутрикратонного рифтогенеза, особенно широко развитого на Приполярном Урале (Кожимско-Тиманская структурно-формационная зона). В позднем рифе нарастающее растяжение привело к появлению только на Полярном Урале (Собско-Едунейская структурно-формационная зона) океанической коры, сопровождаемой офиолитовым вулканализмом (бассейн р.р. Манюка-Яха, Изъякырю). Рифейский геосинклинальный этап завершился здесь мощным андезитоидным вулканализмом контрастной (натриевых базальтов-риолитов) и непрерывной (базальт-андезит-дацитовой) формаций, содержащих в своем основании борниты [3]. С ним связывается медно-серно-колчеданная минерализация (Елецкое, Тышорское, Монтолорское), располагающаяся в инициальных магматитах формации натриевых базальтов-риолитов, а колчеданно-полиметаллическое (Брусиачное, Очетинское), медно-скарновое (Скарновое, Контактовое, Северное) и молибденово-медное (Лекынталбайское, Диоритовое, Кызыгейское) оруденение ассоциируют с вышележащей базальт-андезит-дацитовой формацией. В последующем, в венде и отчасти раннем кембрии как на Полярном, так и на Приполярном Урале, широко проявился окраинно-континентальный вулканализм с формированием молассоидных и салических (базальт-риолитовая) формаций. Здесь проявлено редкометально-полиметаллическое (Предгорное, Барзовское), свинцово-цинковое жильное (Перспективное, Жильное), стратиформное (Речное), медно-молибден-скарновое (Неиурюганское), шеелит-кварцевое (Чемьенское) и молибден-порфировое (Холодное, Харбейское, Лапчавожское) оруденения. Палеозойский эфузивный магматизм, вызванный процессами, протекавшими в Уральской эвгеосинклинали (палеоокеанический сектор), обязан проявлению рифтового режима конструктивного типа, приведшего к появлению в позднем кембрии субщелочного вулканализма (трахибазальтовая, трахиринолитовая формации), который по мере расширения раздига в ордовике сменился толентовым (базальт-андезит-риолитовая, толент-базальтовая формации). Разнообразный вулканализм раннего палеозоя продуцирует в различных фациальных зонах минерализацию золото-сульфидной, ред-

кремально-полиметаллической (Изъяхское, Лемвинское), вольфрам-молибденовой (Торговское), кварц-антимонитовой (Ханмейское) и колчеданно-полиметаллической (Нижнеталтинское, Грубешорское, Центральное) формаций.

Палеовулканические исследования, впервые проведенные в регионе, позволившие реконструировать палеогеодинамические обстановки, дали обширную информацию по характеру самой вулканической деятельности (см. рисунок). Так, вулканогенные образования формации натриевых базальтов-риолитов принадлежат к продуктам субмаринных извержений лавовых вулканов центрального и трещинного типа. На это указывает низкий (5—7 %) индекс эксплозивности (E), преимущественно основной состав магмы, преобладание лавовых потоков, морфология палеоаппаратов и ассоциация их с глубоководными углеродисто-кремнистыми осадками. Формирование базальт-андезит-дацитовой формации происходило в субмаринной и отчасти наземной обстановке в результате деятельности смешанных (стратовулканы) куполовидных и комбинированных вулканов центрального типа, характеризующихся широкими вариациями эксплозивной деятельности (E 30—55 %), близкими к современным «стромболианским» и «пелейским» экспозициям. Их отличает порфировый петрографический тип, известково-щелочной состав, гомодромная эволюция магматизма и ассоциация с морским флишем. Формирование базальт-риолитовой формации происходило в два несколько различных этапа, разделенных небольшим перерывом в вулканической деятельности. Начальный период характеризуется функционированием щитовых и отчасти смешанных вулканов, приближающихся к «исландскому» и «стромболианскому» типам извержений (E до 65 %) и поставлявших, главным образом, к поверхности эффузивы основного состава. Вулканизм заключительного этапа носил преимущественно эксплозивный характер (E до 95 %), отвечавший извержениям «вулканского» и «пелейского» типов. В этот же период, паряду со стратовулканами, широкое развитие получили куполовидные структуры, такие, как экструзивные и выжатые куполы, вулкано-плутоны, глыбовые кратеры, шлаковые конусы и др. Эффузивные породы характеризуются порфировым петрографическим типом, высокой щелочностью и ассоциацией с молассонидами континентального генезиса. Вулканическая деятельность раннего палеозоя сосредоточивалась как в пределах совместных синклиниориев (Талота-Собский, Леманинский), так и фиксировалась в горстовых докембрийских поднятиях. В ее структурном плане преобладали северо-восточные и субмеридиональные направления.

Наиболее ранний субщелочной наземный вулканизм трахибазальтовой и трахириолитовой формаций представлен в разной степени эродированным куполовидным, щитовым и комбинированным палеовулканами. Вулканизм носил аэральный характер (E до 50 %). Палеопостстройки приурочены к глубинным разломам и протягиваются в виде прерывистой полосы вдоль всего западного склона севера Урала более чем на 700 км. Несколько восточнее, но уже большей частью в субмаринной обстановке, шло формирование известково-щелочных и толентовых вулканитов, соответственно, базальт-андезит-риолитовой и толент-базальтовой формаций. Для них характерно сопряженное развитие полигенных палеовулканических структур центрального (щитовые + стратовулканы) и линейного типов. При этом отмечается резкое снижение интенсивности эксплозивной деятельности (E от 50 до 10 %) к наиболее восточным толентовым разностям.

Проведенные в пределах западного склона Севера Урала исследования показали, что основными геолого-промышленными типами оруденения, связанными с вулканизмом, являются медно-колчеданные, колче-



Палеовулканологическая карта Полирноуральского мегаптиклиниория

Условные обозначения: 1 — осадочные и магматические формации; 1 — переслаиванный песчано-глинистый (I₁—I₄); 2 — терригенные полиминеральные (I₅—I₆) и (I₇) базальт-андезитовые (I₈); 3 — гранитные (P₁); 4 — переслаиванные молассовые (P₁—P₂); 5 — переслаиванные терригенно-карбонатные (O₁—C₁); 6 — кремнекластическая терригенная (C₂—P₁); 7 — габро-гравеносный-гравитационный (Д₁—С₁); 8 — трахизабазальт-трахиродолитовая (Д₂—Д₃); 9 — толент-базальтовая (Е₁—О₁): а) субвулканическая и б) эфузивно-пирокластическая фации; 10 — базальт-андезит-риолитовая (Е₂—О₁): а) субвулканическая и б) эфузивно-пирокластическая фации; 11 — трахиродолитовая (Е₃—О₁); 12 — трахизабазальтовая (Е₄—О₁): а) субвулканическая и б) эфузивно-пирокластическая фации; 13 — песчано-алевритовая (О₂—О₃); 14 — алеврите-песчаная (О₄—О₅); 15 — песчано-глинистая (О₆—О₇); 16 — дунит-гарпуритовая (О₈—О₉); 17 — базальт-риолитовая (V—Е₁?); 18 — субвулканическая; б) эфузивно-пирокластическая фации; 19 — галечко-алеврите-песчаная (VI); 20 — базальт-андезит-диабазитовая (R₁): а) субвулканическая, б) эфузивно-пирокластическая фации; 21 — известняково-шесталло-глинистые (R₂, R₃?); 22 — натриевые базальты — риолиты (R₄); 23 — метабазальт-андезитовые (R₅—R₆); 24 — переслаиванные натриевые базальты и метадунит-тарцибургатовые (R₇—R₈); 25 — переслаиванные кремнекластично-уллеродистые и известняково-песчано-глинистые (R₉); 26 — метабазальтиты; а) субвулканическая, б) эфузивно-пирокластическая фации; 27 — метабазальт-шиербагитовая (R₁₀); 28 — метатерригенические отложения раннего протерозоя. Палеовулканологические структуры: 29 — экструзионные куполы; 30 — щитовые вулканы; а) достоверные, б) предполагаемые; 31 — стратовулканы, в том числе по формациям: а) ВАД, б) В — Р, в) ТВ, г) ТВ — ТР; 32 — комбинированные вулканы: а) стратовулканы и купола, б) щитовые и стратовулканы; 33 — экструзионные гряды; 34 — антидаймые вулканические структуры; 35 — реаникты вулканических плато; 36 —

зинно-полиметаллические и молибден-медно-порфировые рудные формации. Анализ закономерностей размещения рудной минерализации выполнен только для этих перспективных типов оруденения и сводится, главным образом, к установлению рудоконтролирующих факторов с разработкой на их основе критериев прогноза. Для этих целей привлекались результаты геокартрирования, структурно-формационных, математических, геохимических и геофизических исследований. Решение задачи осуществлялось эмпирическим и статистическим методами путем установления существующих связей рудных объектов различного иерархического уровня с соответствующими геологическими телами, а через них и с явлениями [1].

Для оруденения, связанного с вулканизмом, особую актуальность, несомненно, приобретают палеовулканологические критерии, которые принято разделять в зависимости от масштаба на региональные и локальные (табл. 1). Из региональных критериевами выделяются структурно-тектонические и формационные. Первые объединяют вулканические структуры первого и второго порядков, такие, как вулканические гряды, формирование которых происходило в определенном геодинамическом режиме, обусловившем своеобразие магматических и рудных формаций.

Выше показано, что рифейское колчеданное оруденение (Елецкое, Монголорское, Тышорское и др. месторождения и рудопроявления) располагается только в пределах Собского поперечного поднятия. Последнее представляет собой сложную гетерогенную структуру, включающую и субмаринный верхнерифейский вулканический пояс, заложившийся на коре океанического типа с мощностью гранулит-базитового слоя более 30 км. Рудоносной формацией, так же, как это установлено на Урале и в других регионах [5, 6, 8, 9], выступает контрастная формация натриевых базальтов-рюолитов. Оруденение связывается с наиболее поздними продуктами вулканической деятельности — плагиориолитами и плагиориолитами жерловой либо субвулканической фации.

Положение колчеданно-полиметаллической минерализации в региональных вулканических структурах в рифе и раннем палеозое не однозначно. Если рифейское оруденение сопряжено с островодужным (базальт-андезит-дацитовая формация), то раннепалеозойское — с рифтотенным (толент-базальтовая формация) вулканализмом региона. При этом для первого (Очетинское, Брусничное, Восточное и др.) наблюдается приуроченность к субмаринным вулканическим грядам, характеризующимся неполным набором геосинклинальных формаций, мощностью гранулит-базитового слоя 25—30 км и сиало-фемическим типом коры. Для второго (Нижнеталотинское, Байдаракское, Грубешорское и др.) просматривается связь с вулканическими постройками, слагающими пепперферическую, наиболее западную, ветвь уральского океанического лифта. Мощность гранулит-базитового слоя также составляет 25—30 км, а преобладающий тип коры — сиало-фемический.

Региональные критерии верхнерифейского молибден-медно-порфирого оруденения обусловлены размещением рудных объектов (Лекинтальбейское, Кызыгейское, Диоритовое) в андезитоидном вулкано-плутоническом поясе, сложенном базальт-андезит-дацитовой формацией и характеризующемся редуцированным набором геосинклинальных формаций с мощностью гранулит-базитового слоя 25—30 км.

1 — вулканические депрессии; 2 — межгорные прогибы; 3 — вулканические поднятия; 3а — эстуарные браччи; 3б — области преимущественного распространения терригенных образований; 3в — кольцевые структуры, выпадающие по Космо- (а) и Ааронсекам (б); 4 — граница Земинского алькотона; 41 — южная граница Палеокавказского сектора; 42 — тектонические нарушения; 5 — налиги, избрю-ниадни; 51 — обсыпь, сбросо-склон; 6 — месторождения и рудопроявления колчеданной (а), колчеданно-полиметаллической (б) и медно-порфировой (в) формаций

Таблица 1

Палеопетрографические критерии положительной прогнозной оценки оруденения Севера Урала

Критерий	Рудные фации			Молибден-мединорудная R_3
	Молибден-кобальтанская R_3	Кобальтанс-никеланская R_3	Сульфидно-никеланская R_3	
Структурно-tektonicheskie	Основные части субвулканического пояса с пологим набором раннегосинеклинических формаций и мощностью трауэллит-базитового слоя 25—30 км	Оевые части субвулканических покровов (грабен) с редуцированным набором геосинклинических формаций и мощностью трауэллит-базитового слоя 25—30 км	Периферийские части субвулканических покровов раннегосинеклинического режима гранулит-базитового слоя 25—30 км	Вулкано-плутонический пояс с редуцированным набором геосинклинических формаций, мощность трауэллит-базитового слоя 25—30 км
Формационные	Формации шартовых базальтов — риолитов (R_3), зернистые радиолитовые толщи	Формации базальт-андезит-риолитовых (R_3)	Содержание позитивных дериватов базальт-андезит-риолитовых и толент-базальт-габбров ($E_3 - O_3$) формации	Формации базальт-андезит-риолитовых (R_3), подавленные дериватами
Фактические	Субвуликанская фация — субфации эзаконтакта небольших тел субвуликанических интрузий, удаление от главного эруптивного центра; эзаконтакты тел субфации эзактуризных куполов, эфузивно-прикластическая фация — участки сопряженных потоков с отловленной эзактуризной субфации и осадками кремнисто-углеродистой формации (R_3)	Субвуликанская фация — субфации эзаконтакта небольших тел субвуликанических интрузий, удаление от главного эруптивного центра; эзактуризно-прикластическая фация — участки сопряженных потоков с отловленной эзактуризной субфации и осадками кремнисто-углеродистой формации (R_3)	Субвуликанская, жерловая фация — эзак-эндоконтакты субфации дакек и субвуликанических интрузий; эзактуризно-прикластическая фация — эзак- и эндоконтакты субвулканических потоков в сочетании с осадками песчано-алевритовой парагенерации	Субвуликанская, жерловая фация — эзак-эндоконтакты субфации дакек и субвуликанических интрузий, апикальные части гипабиссальных интрузий
Структурно-морфологические	Слоны экструзионных куполов, осложненные депрессионными структурами и колыбели	Периферия дифференцированых стратовулканов, осложненных колыбелями разломов	Слоны штоковых и эндоконтактных полигенных вулканов	Слабородиоритовые стратовулканы; вулкано-куполовые структуры

Основные закономерности размещения оруденения в рудоносных формациях, определяющие локальные критерии, устанавливаются благоприятным соотношением фаций, морфологии палеопостроек и состава самих пород (см. рисунок). Сочетание этих позиций позволило выявить ведущие палеообстановки рудоотложений: 1) в осевых частях и на склонах экструзивных куполов, расположенных депрессионными структурами; 2) на склонах щитовых, смешанных (стратовулканов) вулканов и в эндоконтактах полигенных линейных вулканов; 3) в экзо- и эндоконтактах и ядерных частях жерловых и субвулканических интрузий стратовулканов; 4) в ядерных и апикальных частях вулкано-плутонических купольных структур, сложенных субвулканическими и гипабиссальными интрузиями; 5) в прибрежных частях депрессионных структур и синвулканических грабен-синклиналях, выполненных вулканогенно-осадочными и осадочными отложениями. Типизация месторождений и рудопроявлений западного склона севера Урала в зависимости от преобладающих палеообстановок рудоотложения приведена в табл. 2.

На объектах, формирующихся в приповерхностных условиях, главным образом, в субмаринной обстановке, рудные тела, как правило, имеют значительные размеры, субогласные с вмещающими отложениями контакты и рассматриваются в качестве оруденения стратиформного типа [6]. Вследствие того, что в регионе широко проявлен разновозрастный дислокационный метаморфизм, рудные тела имеют крутые углы падения (Брусничное, Очтывинское, Монголорское) и нередко смяты в складки совместно с вмещающими по-

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Петрографические	Брекчиевые, атакситовые, миндалевидные	цементами разломами, прибрежные и придонные участки депрессионных структур	и из зон адвентивных краев; прибрежные чистые международные дайрессии	Редкогородираторные структуры толстых горизонтов базальтов	Перфорированные структуры; брекчевые, атакситовые, текстуры пород среднего и хлестого состава
Петротехнические	Натриевый тип плюодности; надзаркаовые ($KK > 1$), концепции и хорффенит, варварин (V) более 60 % меди, никеля; никель < 10 г/т, содержание Rb в плагиогранитах	Натриевый тип плюодности; надзаркаовые ($KK > 1$), концепции и хорффенит, варварин (V) более 60 % меди, никеля; никель < 10 г/т, содержание Rb в плагиогранитах	Помимо натриевого типа шелочных-стекловидные, свинец, меди, барит	Кали-натриевый тип шелочных-стекловидные, свинец, меди, молибден, никель, турмалин, повышенная рентгеновская сульфидов	

родами (Нижнеталотинское, Байдаракское и др.). Руды массивные, густо-вкрапленные, прожилково-вкрапленные.

Структуры месторождений и рудопроявлений, приуроченных к экструзионным куполам и жерловым интрузиям различной морфологии, определяются в основном рельефом палеопостроек, характером границ и

Таблица 2

Типизация колчеданных (1), колчеданно-полиметаллических (2)
и молибден-медио-порфировых (3) объектов севера Урала
на палеовулканологической основе

Фация	Структурное положение объекта	Примеры
Эффузивно-пирокластическая	Зоны повышенной трещиноватости и дробления северо-западной и субмеридиональной ориентировки и межфациальные контакты: а) на склонах щитовых, смешанных (стратовулканов) вулканов и в экзо-эндоонтактах полигенных линейных вулканов; б) в прабортовых и придонных частях депрессионных структур, выполненных вулканогенно-осадочными отложениями синвулканических грабен-синклиналей	Нижнеталотинское (2), Байдаракское (2), Центральное (2), Монгольское (2), Нирдвореншорское (1), Минюкское (1), Очетминское (2), Бруничное (2), Грубешорское (2)
Жерловая	Узлы пересечения и сопряжения субмеридионального и северо-западного простирания, представленные зонами повышенной трещиноватости дробления: а) в осевых частях и на склонах экструзионных куполов, осложненных депрессионными структурами; б) в экзо-эндоонтактах интрузий различной морфологии	Монгольское (1), Восточное (2)
Субвулканическая	Узлы пересечения и сопряжения субмеридиональных и северо-западных структур, представленные (штокверковыми) зонами дробления трещин:	Лекмантьбайское (3), Межгорное (2)
Гипабиссальная	а) в экзо- и эндоконтактах и ядерных частях субвулканических интрузий стратовулканов и вулкано-купольных структур; б) в ядерных и апикальных частях вулкано-купольных (плутонических) структур, сложенных субвулканическими и гипабиссальными интрузиями	Тышорское (1), Елецкое (1), Солнечное (3), Очетинское (2), Верхнемарморское (3); Кызыгейское (3), Диоритовое (3), Борзовское (3), Южное (3)

внутренним строением интрузивных тел. Для них характерны сложная морфология залежи при сочетании согласных и секущих тел крутое падения и переменной мощности (Елецкое, Восточное) с массивным и прожилково-вкрапленным типом руд. Рудные объекты, приуроченные к субвулканическим и гипабиссальным фациям, отличаются наибольшей сложностью в строении тел и составе руд с преобладанием прожилково-вкрапленного и вкрапленного оруденения (Кызыгейское, Диоритовое).

В заключение можно отметить, что для колчеданных, колчеданно-полиметаллических объектов характерны, в основном, приповерхностные обстановки рудоотложения [6, 8, 9], широко обсуждаемые в настоящее время в связи с появлением массы информации по океанскому рудогенезу и приведшие к некоторому пересмотру генетических концепций [6]. Молибденено-мединое оруденение порфирового типа тяготеет к более глубинным субвулканическим и гипабиссальным фациям [4] в пределах вулкано-плутонических полигенных построек.

В этом отношении Лекынталбайский рудотип, хотя и имеет определенную специфику, отмеченную И. Г. Павловой, во многом перекликается с известными рудными районами Казахстана, Восточного Саяна и др. [5, 7].

Выводы

Анализ закономерностей размещения ведущих геолого-промышленных типов оруденения, связанных с вулканизмом, дал возможность разработать региональные и локальные палеовулканологические критерии прогнозной оценки западного склона севера Урала. Последние во многом определяются благоприятным для рудоотложения сочетанием формаций, фаций, морфологий и палеопостроек и состава самих пород. Создание геолого-металлогенической модели территории и изучение ведущих геолого-структурных позиций в геологическом пространстве, с учетом положительных палеовулканических критериев, позволило выделить, в пределах исследуемого региона, ряд перспективных площадей, представленных рудными районами и полями: Енгапейский, Мантырский, Хараматалоуский — для медноколчеданной формации; Прибрежный, Соединенный, Паровский, Оченырдский, Хадатинский — для колчеданно-полиметаллических и Лекынталбайский, Кызыгейский, Лонготский, Харбейский, Малопатокский — для порфировой формации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабенко В. В. О способах и принципах моделирования геологических явлений на основе системного подхода // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1986. № 12. — С. 3—9.
2. Душкин В. А., Григорьев В. В. Металлогенез азакогем-рифтогенных и рифтогенных магматических комплексов западного склона Урала // Эволюция металлогенеза Урала в процессе формирования земной коры. — Свердловск: УрО АН СССР, 1988. — С. 81—88.
3. Душкин В. А. Высокомагнитные андезиты и борниты из кинциальных рифей Поларного Урала // ДАН СССР. — 1989. — Т. 306, № 3. — С. 693—696.
4. Кричев А. И., Мигачев И. Ф., Полов В. С. Медно-порфирные месторождения мира. — М.: Недра, 1986. — 236 с.
5. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д. В. Рудакинстя. — Л.: Недра, 1978. — 607 с.
6. Медноволчеданные месторождения Урала / В. А. Прокин и др. — Свердловск: ЗИН АН СССР, 1985. — 288 с.
7. Павлова И. Г. Медно-порфирные месторождения. — Л.: Недра, 1978. — 275 с.
8. Рудинский В. Ф. О влиянии вмещающих пород на состав и зональность руд на Уральских колчеданных месторождениях // ДАН СССР. — 1981. — Т. 206, № 5. — С. 1248—1251.
9. Серавкин И. Б. Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. — М.: Наука, 1986. — 268 с.

УДК 551.72+552.5(470.0)

Л. В. Анфимов

РИФЕЙСКИЙ ОСАДОЧНО-ПОРОДНЫЙ БАССЕЙН НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Рифейский осадочно-породный бассейн на Южном Урале выражен крупной геологической структурой — Башкирским мегантиклиниорием, сложенным осадочными образованиями верхнего докембра. Здесь разведы породы стратотиннического разреза рифея, которые в западных частях данной структуры не испытали сильного метаморфизма. Все это

делает данный геологический регион уникальным полигоном для исследования древнейшего на Урале рифейского осадочного породообразования. В других местах развития уральского рифея изучение процессов литогенеза затруднено метаморфизмом пород. В данной статье термины литогенез, осадочно-породный бассейн используются в свете представлений П. П. Тимофеева и В. Н. Холодова.

Разрез рифейских отложений в Башкирском мегантиклиниории достигает 12 км мощности. Стратиграфическая последовательность этих образований и общий характер седиментогенеза изучены с достаточной полнотой. Однако глубина погружения верхнедокембрийских отложений в рифейском породном бассейне еще не определялась. Открытым оставался вопрос о том, как протекал литогенез рифейских отложений — или в условиях единого мощного разреза (12 км), или же в разрезе, разобщенном на блоки, испытавшие дифференциальные вертикальные перемещения. Решение этого вопроса позволило бы установить палеотектонические особенности рифейского осадконакопления — происходило ли оно в едином бассейне для всех стратонов этого геологического времени, или каждому из них были свойственны свои области седиментации, площади которых не проектировались в одно место.

С отложениями рифея на Южном Урале связаны крупные месторождения сидерита, магнезита, барита,rudопроявления полиметаллов и других полезных ископаемых. Существует поляризация представлений о генезисе названных месторождений, которые либо относятся к типичным осадочным (седиментогенным), либо к эндогенным (гидротермальным, метасоматическим). Поскольку полезные ископаемые приурочены к осадочным толщам рифея, вполне очевидно, что решение основных вопросов металлогении последних можно осуществить только путем комплексного литологического исследования. Разработка представлений о стадийном развитии осадочных пород в осадочно-породном бассейне позволяет осуществить более полное изучение рифейских образований и ассоциирующих с ними полезных ископаемых.

Литологические комплексы

Формационное исследование рифейских образований на Южном Урале выявило закономерное существование в вертикальном разрезе определенных литологических комплексов: вулканогенно-конгломерато-песчаниковых, песчаниковых, сланцевых, сланцево-карбонатных (рис. 1). Они слагают крупные седиментационные циклы, в нижней части выраженные обломочными породами, которые сменяются вверху сланцево-карбонатными образованиями. Литологические комплексы формировались в условиях крупной платформенной структуры типа авлакогена на восточной окраине Русской плиты [4, 10]. Седиментация здесь зависела от рельефа бортов и дна прогиба. Вулканогенно-конгломерато-песчаниковые и песчаниковые комплексы накапливались в прогибе при максимальном развитии дифференциальных блоковых движений дна и бортов, что обусловливало значительную расчлененность рельефа этих структурных элементов и проявления вулканизма [1, 8]. Осадки сланцевых литологических комплексов формировались при затухающих блоковых движениях и слаженном рельефе дна и бортов прогиба. Отложения сланцево-карбонатных литологических комплексов накапливались в условиях консолидированного и медленно погружающегося дна прогиба при его пенепленизированных бортах.

Рудоносность

Литологические комплексы рифейского разреза Башкирского мегантиклиниория, помимо различий в петрографическом составе, обладают еще и качественно неодинаковой рудоносностью.

Вулканогенно-контгломерато-песчаниковые литологические комплексы характеризуются медным и полиметаллическим оруднением [9]. Песчаниковые литологические комплексы обладают бедной россыпью цирконне-титановой металлоносностью (айская, зильмердакская). Отложения зигальгинской свиты, относимые к этому литологи-

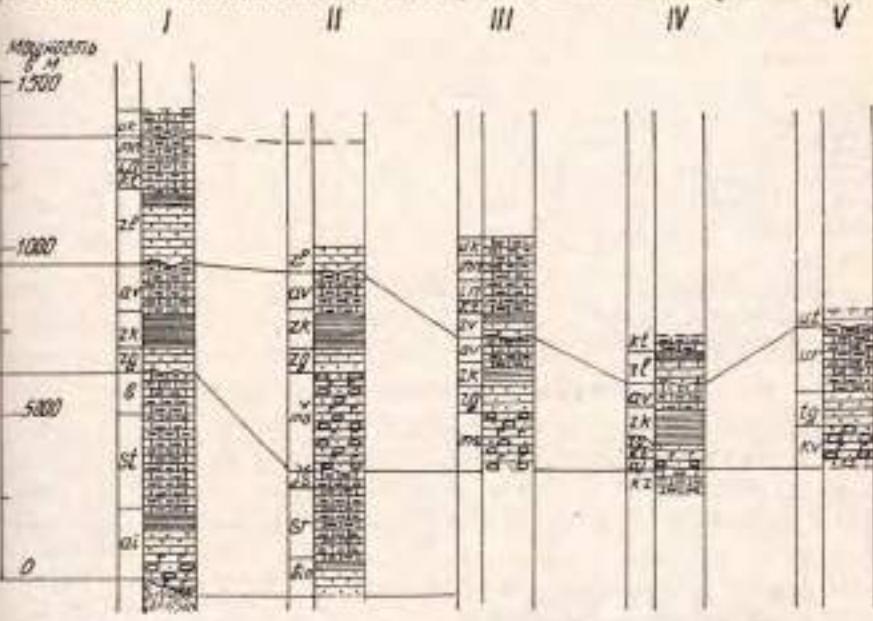


Рис. 1. Литологические комплексы в разрезе рифейских отложений Южного Урала. Районы: I — Тараталинско-Каратауско-Нугушский, II — Ямангуский, III — Иремель-Криволукский, IV — Маякдинский, V — Златогорский, Синтез: № — альб (зеленый), ст (стеклянный), №а (балашиновская), №в (серинская), №г (юшанская), №д (кизылташская), №е — зг (зигзагчатый), №к (изогипово-комаровский), №и (извилистый), №ш (макушанская), №т (белесый), №ч (чукаинская), №г (тигининская), №тп (тургеневская), №з — зг (анапурдакская), №л (катавинская), №н (минварская), №у (убийская), №с — сукшинский. Литологические комплексы: 1 — будаевогорско-конгломерато-гравеллитовый, 2 — песчаниковый, 3 — сланцевый, 4 — глинистый.

кому комплексу, бедны акцессориями и металлоносны лишь на северном рудном поле, где в низах разреза свиты имеется зона развития эпигенетической вкрапленности сульфидов. В силу высокой степени однородности минерального состава кварцитовидные песчаники свиты сами приобретают значение полезного ископаемого и используются в производстве ферросилиния и динаса. С песчаниками из мердакской свиты связано Кужинское месторождение барита.

Сланцевые литологические комплексы содержат мелкие инфильтрационные месторождения бурых железняков (верхи айской свиты, зигано-комаровская свита), пластовые залежи диагенетических сидеритов (зигано-комаровская свита).

Сланцево-карбонатные литологические комплексы характеризуются уроченными к ним эпигенетическими месторождениями сидерита, магнезита, барита, полиметаллических руд, флюорита и других полезных ископаемых. Связь магнезитоносности и сидеритоносности с определенными осадочными формациями рифея на Южном Урале впервые рассматривалась З. М. Старостиной в 1962 г. Ниже приводится краткая характеристика рудоносности сланцево-карбонатных литологических комплексов всех стратиграфических уровней рифея.

Нижнерифейский. Известны эпигенетические месторождения сидерита, магнезитов, флюорита, полиметаллических руд. Сидеритовые месторождения приурочены к породам саткинской (Ахтенское) и бакальской

(Бакальская группа) санит. Месторождения магнезитов связаны с образованиями саткинской (Саткинская группа), бакальской (Петлинское, Шиханское, Рудничное, Северо-Западный Иркусман), суранской (Юшинское, Исмакаевское), кызылташской (Кызылташское, Сюрюзякское, Белетурское) свит. Проявления полиметаллических руд отмечены в терригенных и карбонатных породах бакальской свиты.

Среднерифейский. Здесь известны метасоматические месторождения магнезитов, баритов и полиметаллических руд. Магнезитовые месторождения приурочены к низам авзянской свиты (Катав-Ивановское, Байгазинское, Егоровы печи, Отнурское и др.), а также уренгойской (Семибратьевское, Веселовское) свите. Бариты залегают также в нижних частях разреза авзянской свиты (Бретякское, Ирлинское месторождения). Полиметаллические руды связаны с отложениями верхов авзянской свиты (Аршинское, Новониколаевское, Кужинское и др. месторождения).

Верхнерифейский. С отложениями катаевской и инзерской свит связаны многочисленные рудопроявления меди, а с образованиями минь-ярской свиты — рудопроявления полиметаллов.

Постдиагенетические изменения пород

Наиболее чутким и универсальным индикатором условий литогенеза в осадочно-породных бассейнах являются глинистые породы. Степень уплотненности и состав тонкодисперсных силикатов, слагающих эти образования, дают возможность ориентироваться в глубинах погружения породных бассейнов и существовавших там температурах.

Глинистые породы рифея в данном регионе представлены аргиллитами, пелитовыми сланцами, минеральный состав которых по данным рентгенографического анализа, ИК-спектроскопии, термографии, электронной и оптической микроскопии выражен парагенезом диоктазидических гидрослюд и хлоритов на всех уровнях рифейского разреза (рис. 2). Местами в рифейских сланцах помимо данного парагенеза отмечается присутствие малых примесей смешанослойных образований (хлорит-вермикулит; монтмориллонит-гидрослюд), пальгорскита, обломочного биотита. Ассоциация хлоритов и гидрослюд в пелитовых сланцах позволяет рассматривать последние как глины, предельно изменившиеся при литогенезе. Характерно, что глауконит отмечается только в верхнем рифее, иногда в среднем. Смешанослойные образования типа

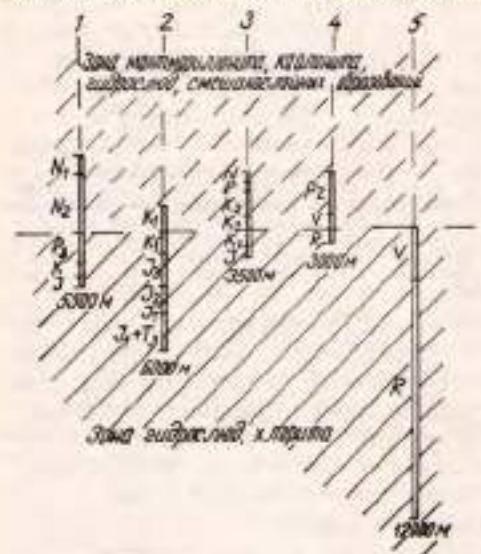


Рис. 2. Зональность в распределении глинистых минералов в мощных толщах осадочных пород:

1 — Восточное Предкаucasье (по В. Н. Ходорову), 2 — Волжская впадина (по А. Г. Коссовской), 3 — Западно-Сибирская плита (по Г. Н. Перозио), 4 — Восточная окраина Русской платформы (по А. В. Куткову и В. А. Сафловой), 5 — Башкирский мегантиклиниорий (западное крыло).

МОНТМОРИЛЛОНИТ-ГИДРОСЛЮДА встречаются в породах верхнего рифея. В нижнем рифее встречается серицит и серицитоподобная диоктазидическая гидрослюда.

В 70 образцах пелитовых сланцев, послойно взятых из разреза рифея западного крыла Башкирского мегантиклиниория, были определены

пористость, удельный и объемный веса. Средние значения микропористости глинистых пород нижнего рифея — 2,23 %, среднего рифея — 4 %, верхнего рифея — 4,36 % свидетельствуют, что в 12 км разрезе обозначается тренд степени уплотненности глинистых пород. Таким образом, в западном крыле Башкирского мегантиклинория глинистые породы низов рифейского разреза характеризуются максимальным уплотнением и существенно отличаются (почти в 2 раза) по этому показателю от таких же пород верхов разреза.

Для песчаных и карбонатных пород отмечается аналогичная тенденция постдиагенетических изменений. Песчаные породы айской, бакальской, зигальгинской свит представлены кварцито-песчаниками, кварцистыми песчаниками, обладающими конформными, конформно-реконструкционными структурами, проявлениями внутрислоевого растворения, катаклаза, бластеза и т. п. В зильмердакской (R_3), инзерской (R_3), айской (R_1) свитах имеются кварцитовидные песчаники и песчаники с кремнистым, кремнистым цементами. В них выражены структуры внутрислоевого растворения, но отсутствуют катаклаз, бластез. Во всех свитах рифея пелитовая фракция выражена минеральной ассоциацией хлорита и диоктазидических гидрослюд. Песчаные породы верхов рифея содержат обломочный биотит, глауконит. Карбонатные породы низов рифея (R_1 и R_2) представлены перекристаллизованными крупнозернистыми разностями, в то время как в верхах разреза (R_3) они чаще всего пелитоморфные или перекристаллизованные зернистые. Пелитовый терригенный компонент карбонатных пород представлен хлоритами и диоктазидическими гидрослюдами. В верхах разреза (R_3) карбонатные породы содержат глауконит. В 12 км разреза рифейских отложений выделяются зоны, сложенные породами различного уровня литогенетической измененности. Нижняя зона, охватывающая разрез от айской до зигальгинской свит включительно, характеризуется развитием пород, прошедших глубинный катагенез и зонами затронутых метагенезом. Средняя зона включает зигзагинскую, азянскую и зильмердакскую свиты, породы которых прошли стадию глубинного катагенеза. Верхняя зона выражена разрезом от инзерской до айской свит включительно и представлена породами, не прошедшими полностью глубинный катагенез и сохранившими реликты первоначального. Изложенное свидетельствует в пользу того, что литогенез рифейских отложений западного крыла Башкирского мегантиклинория текла в условиях погружения единого и мощного разреза (12 км), существовал единый седиментационный бассейн, который затем преобразовался в осадочно-породный и погрузился на значительную глубину.

В западном крыле Башкирского мегантиклинория глубокая скважина (5010 м) — Кулгушин-1 вскрыла разрез от R_1 до R_3 . Таким образом, представление о литогенезе пород в условиях единого рифейского разреза в Башкирском мегантиклинории находит прямое подтверждение. В разрезах мощных осадочных толщ различного возраста таких регионов, как Восточно-Предкавказский прогиб, Западное Верхоянье, Запад Русской платформы, Западно-Сибирская плита, по исследованию В. Н. Холодова, А. Г. Коссовской, А. В. Кутукова, В. А. Светловой, Г. Н. Перозио, установлено, что разнообразные ассоциации неустойчивых тонкодисперсных силикатов (каолинит, монтмориллонит, смешанные образования и др.) в породах верхних частей разрезов в глубинах 2–4 км сменяются устойчивым и однородным парагенезом гидрослюд и хлоритов (см. рис. 2). Это позволяет предполагать, что в Южном Урале даже верхняя часть рифейских отложений была перекрыта толщей пород не меньшей мощности.

Составленная автором карта постдиагенетических изменений осад-

доочных рифейских пород (рис. 3) демонстрирует неоднородность области развития катагенеза, охватывающей западное крыло Башкирского мегантиклиниория. В осевой части Башкирского мегантиклиниория породы изменены метагенезом, зона развития которого в северной части структуры имеет границу, секущую стратиграфические контакты айской, саткинской, бакальской, зигальгинской свит, что указывает на метаморфическую природу, не связанную с погружением данных постдиагенетических изменений.

В целом в западном крыле Башкирского мегантиклиниория постдиагенетические изменения осадочных пород невысокие и отражают ход литогенеза рифейского погружающегося осадочно-породного бассейна, а в осевой части этой структуры изменения пород значительные и связаны с метаморфизмом Уральского подвигового пояса, расположенного в непосредственной близости на востоке. Особенно сильное воздействие этого метаморфизма испытывало восточное крыло Башкирского мегантиклиниория (см. рис. 3).

Теперь о температурном режиме, при котором протекали постседиментационные преобразования осадочных пород рифея на Сибирской платформе. В 1967 г. Г. Н. Перозио, Ю. П. Казанский, Н. А. Лизалек показали, что катагенез проходил при температурах порядка 55—135°C, а метагенез — 110—150°C. А. П. Бояркиным в 1982 г. установлено, что вскрытие газово-жидких включений из кварцевых прожилков и гнезд в породах рифея в Бакало-Саткинском районе Башкирского мегантиклиниория происходит в интервале 110—150°C, а в Златоустовском районе — при 185—200°C. Учитывая это, можно считать, что низы разреза в осадочно-породном бассейне Южного Урала прогревались при температуре не более 135—150°C, а верхи — не ниже 50°C. Таким обра-

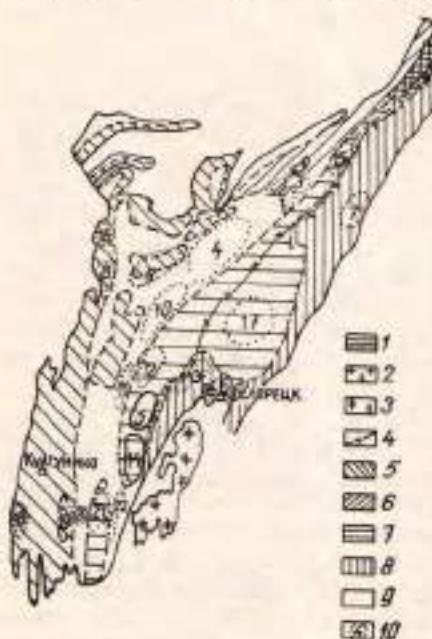


Рис. 3. Схематическая карта постдиагенетических изменений рифейских осадочных пород Башкирского мегантиклиниория.

Породы: 1 — таратавский метаморфический комплекс, 2 — граниты, 3 — гипербазиты, 4 — Экорктульский разлом. Зоны: 5 — глаубинного катагенеза с различными начальными, 6 — глубинного катагенеза, 7 — глубинного катагенеза с элементами метагенеза, 8 — метагенеза, 9 — метаморфизма, 10 — рудные районы: 1 — Алханский (сидерит), 2 — Бакалский (сидерит, магнетит), 3 — Саткинский (магнезит), 4 — Верхнескат-Бердактюльминский (магнезит), 5 — Исламаевско-Юшинский (магнезит), 6 — Белорецкий (магнезит), 7 — Златоустовский (магнезит), 8 — Архангельский (бурый железняк), 9 — Лейзинский (бурый железняк), 10 — Ижинский (бурый железняк), 11 — Зигазинско-Комаринский (бурый железняк), 12 — Дашкининский (бурый железняк), 13 — Белорецкий железорудный, 14 — Аязинский (бурый железняк, благородные металлы), 15 — Кувшинско-Медведевский (барит, полиметаллы), 16 — Средневуторгашинский (барит, полиметаллы), 17 — Тирлянский (бурый железняк, полиметаллы), 18 — Болташортко-Беркутовский (барит-полиметаллы), 19 — Кужинский баритовый, 20 — Кузинский полиметаллический, 21 — Аракунинский (барит, полиметаллы), 22 — Иржинско-Бретянский (барит, полиметаллы).

зом, весь 12 км разрез рифея в осадочно-породном бассейне находился в области низкого геотермического градиента порядка 0,8°C на 100 м погружения. Такие низкие градиенты отмечены в тектонических прогибах на стабилизированных основаниях с большой мощностью осадков (Прикаспийский — 1°C; Предкавказский — 1,5°C; Днепрово-Донецкий — 2,3°C и т. п.).

Экспериментальные исследования уплотнения глин (Ломтадзе, 1953) показали, что при давлении 5000 кг/см², которое соответствует погружению на 15 км, пористость составляет 3—4 %. С повышением температуры пористость уменьшается до 0,4—0,6 %. В низах рифейского разреза на Южном Урале пористость глинистых пород колеблется от 1,5—2,5 %, что позволяет принимать глубину предельного погружения рифейского осадочно-породного бассейна не менее 15 км.

Соотношение литогенеза и эпигенетического рудообразования

Для этих целей хорошие исследовательские полигоны представляют собой рудные поля Сатки и Бакала, где длительное время производится разработка открытым способом полезных ископаемых, следствием чего является возможность широкого обзора объектов геологического изучения. А. Н. Заварицким [6, 7] было показано, что залежи сидеритов и магнезитов имеют секущие контакты с вмещающими карбонатными породами, т. е. по сути являются дискордантными телами. По его наблюдениям руды имеют метасоматическое происхождение. На Бакале А. Н. Заварицкий [7] установил, что возраст диабазовых даек, контактирующих с залежами сидерита, является дорудным. Этим самым эпигенетическая природа сидеритового и магнезитового оруденения в рифейских осадочных толщах установлена однозначно. То же самое отмечается и для полиметаллического, баритового и флюоритового оруденения. Однако на какой стадии литогенеза находились породы, когда происходило эпигенетическое рудообразование, предшествующее исследователи не дали ответа. Исследование показало, что эпигенетические месторождения полезных ископаемых в осадочных толщах рифея привлечены к тем зонам, которые сложены породами, прошедшими полностью глубинный катагенез. Следует отметить, что в зонах Башкирского мегантиклиниория, затронутых метагенезом, проявления последнего в виде прожилково-гнездовых текстур распространены как в рудах, так и во вмещающих породах [3]. При этом метагенетические прожилки и гнезда в рудах крупнее, а во вмещающих породах значительно меньше, что свидетельствует о их синхроничности и пострудном возникновении. Таким образом, вполне определенно устанавливается, что эпигенетическое оруденение в рифейских толщах возникло на завершающих стадиях глубинного катагенеза, а в метагенезе происходила одновременная трансформация руд и вмещающих пород.

Природа рудного вещества

При изучении эпигенетического оруденения неизбежно встает вопрос о природе рудного вещества — глубинное (мантийное) оно или заимствованное из вмещающих пород. Результаты исследования изотопии углерода и кислорода из доломитов и руд Бакальских и Саткинских месторождений (табл. 1), изложенные в [6], свидетельствуют о первично-осадочном происхождении вещества данных образований.

Исследование изотопии серы в пиритах из вмещающих доломитов Бакальских месторождений показывает малые содержания ($-12,8 \pm 9,1\%$) тяжелого изотопа (табл. 2), хотя имеются и случаи обогащения им ($+26,2 \pm 31,1\%$). Т. И. Широбоковой исследовалась изотопия серы в сульфидах свинца, цинка, железа из баритовых и полиметаллических месторождений рифея. Она отмечает, что в этих сульфидах имеются значения $\delta^{34}\text{S}$, колеблющиеся в диапазоне от $-4,1$ до $18,1\%$. Изотопный состав серы вмещающих пород аналогичный. Т. И. Широбокова подчеркивает, что вариации носят изменчивый, неупорядоченный характер, обусловленный формированием сульфидов за счет биогенного сероводорода. Повышенное содержание тяжелого

изотопа $\delta^{34}\text{S}$ (+26,7 %) связывается с формированием сульфидов в стадию позднего дигенеза пород.

Изучением рудных свинцов из полиметаллических месторождений Башкирского мегантиклинория [11] установлено, что широкие вариации

Таблица 1

Изотопный состав углерода и кислорода [5] в породах и рудах
Бакальского и Саткинского рудных полей

Породы	$\delta^{13}\text{C}$, ‰		$\delta^{18}\text{O}$, ‰			
	Экстремальные значения	Среднее	Экстремальные значения	Среднее		
Доломиты	-4,4	+2,6	-0,4	+21,3	+22,9	+22,0
Сидериты	-3,8	-2,2	-2,8	+20,5	+22,0	+21,3
Магнезиты	+0,5	+4,2	+1,7	+13,6	+18,9	+15,8

Таблица 2

Изотопный состав серы в пиритах

Место взятия пробы	Геологическое тело	$\delta^{34}\text{S}$, ‰
Бакальское рудное поле	Прожилок	+9,1
»	»	+26,2
»	Стяжение	-4,0
»	»	-2,2
»	»	-12,8
»	»	+31,1
Саткинское рудное поле	»	-11,1
»	»	-5,0
»	»	-9,3
»	»	-7,3

Таблица 3

Изотопный состав свинца из рудных галенитов [11]

Проба	Возраст	Месторождение	$\frac{\text{Pb}^{208}}{\text{Pb}^{204}}$	$\frac{\text{Pb}^{207}}{\text{Pb}^{204}}$	$\frac{\text{Pb}^{206}}{\text{Pb}^{204}}$
116	R ₂	Кужинское	16,38	15,21	35,62
127/29	»	»	17,79	15,83	38,05
108/5-6	»	»	18,86	15,30	39,16
140/47	»	»	17,34	15,01	36,02
552/1-2	»	В. Аршининское	16,77	14,92	35,43
552/1	»	»	16,88	14,99	35,62
7	»	»	17,36	15,45	36,45
366/5-1	R ₂	Балтаюровское	19,23	15,49	39,46
366/5-2	»	»	19,08	15,43	39,58
10	»	Зилимское	19,34	15,55	38,80

изотопного состава этого элемента (табл. 3) могут интерпретироваться как результат заимствования его из вмещающих пород. Авторы предполагают, что незначительная интенсивность процессов рудообразования и катагенеза не обеспечила гомогенизацию выносимого из пород свин-

сте с той они допускают мысль о многоэтапном формировании за счет поступления свинца из различных источников. Таким образом, имеющиеся геохимические данные по рудам и вмещающим породам рифея в Башкирском мегантиклинонории указывают на наличие глубинных (мантийных) источников рудного вещества в эпигенетических месторождениях и свидетельствуют о литогенной при-

Формирование эпигенетических месторождений

Несмотря на то что геологические признаки эпигенетических месторождений в их отложениях Башкирского мегантиклинонория имеют двойственное генетическое толкование, так как указывают, с одной стороны, на оруденение с седиментогенезом (стратиграфический и литотекtonический виды контроля), а с другой — свидетельствуют о наложении характере оруденения (контакты рудных тел, секущие литологические и фациональные границы; рудный метасоматоз; рудообразовавшие зоны тектонического дробления и т. п.). Поскольку магматизм в рифейских толщах проявился весьма ограниченно, то установлении генетической связи оруденения с этими процессами несложно судить уверенно. Напротив, геохимическое исследование эпигенетических руд, а также вмещающих осадочных пород показывают отсутствие генетических связей с магматическими и вулканическими процессами.

Скупность геологических и геохимических данных по изучению эпигенетических месторождений в рифейских толщах приводит к вынужденному формированию рудных растворов за счет выноса компонентов из вмещающих пород. Такие взгляды в последнее время развивает ряд ученых, связывая рудообразование в Башкирском мегантиклинонории с тектонической активностью [9] или региональным метаморфизмом. Ориентировочные расчеты баланса магния и железа в породах Уральского и Бакальского рудных полей показали, что извлечение большого количества компонента из вмещающих пород является вполне вероятным [10]. При оценке количества выносимых компонентов, необходимых для формирования полиметаллических руд, баритов и флюоритов, представляется интересным сопоставление (табл. 4) концентраций руд-

Таблица 4
Кларки некоторых элементов (нас.%) в осадках и породах [14]

геосистема	Zn	Cu	Pb	Ag	Ba	F
в земной коре	$9,5 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-2}$	2×10^{-3}	7×10^{-4}	$5,8 \times 10^{-2}$	$7,4 \times 10^{-3}$
в сланцах	$1,6 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-2}$	8×10^{-3}	$1,1 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$

ментов в современных океанических илах и глинистых породах Мирового океана. Таблица показывает, что объективной стороной литогенетических илов в земной коре является вынос существенной части выщелачивающихся в них цинка, меди, свинца, серебра, бария при диагенезе. Процессы высвобождения различных химических элементов, содержащихся в илах и в воде при катагенезе, а также кинетику формирования газоводных растворов в осадочно-породных бассейнах с максимальной детальностью рассмотрел В. Н. Холодов [12, 13]. Им установлено, что формирование этих растворов является следствием литоген-

генеза слагающих бассейны седиментационных образований. Башкирский мегантиклиниорий рассматривается как осадочно-породный бассейн и в табл. 5 приведены концентрации рассмотренных выше элементов в рифейских породах.

Сравнение табл. 4 и 5 показывает, что в рифейских глинистых сланцах Башкирского мегантиклиниория порядок концентраций цинка, меди, свинца, серебра, бария, фтора близок к лакрам этих элементов в аналогичных породах стратисфера. Исходя из табл. 4, по разности лакров гли-

Таблица 5

Концентрации некоторых элементов в рифейских породах
Башкирского мегантиклиниория, л·10⁻³, мас. %

Породы	Кол-во элементов	Zn	Cu	Pb	Ag	Ba	P
Песчаники	207	1—4	1—4	0,3—2	0—0,05	0—10000	—
Алевролиты	92	2—5	1—3	0,3—1	0—0,001	5—30	—
Глинистые сланцы	197	3—7	1—3	0,5—2	0—0,05	5—40	50—200
Известники	280	—	0,8—1	0,1—0,5	0,5—0,00X	0—500	45—85
Доломиты	207	—	0,8—1	0,1—0,3	0—0,05	0—1000	24—80

нистых илов и глинистых сланцев можно вычислить, что каждая тонна твердого вещества ила при литификации теоретически должна высвобождать следующие количества (кг) исследуемых элементов: цинка — 0,07, меди — 0,2, свинца — 0,06, серебра — 0,00004, бария — 1,72, фтора — 0,56. Учитывая, что площадь рифейского Южно-Уральского осадочно-породного бассейна составляет многие тысячи квадратных километров, а мощность всех слоев рифейских глинистых пород — несколько тысяч метров, можно с высокой вероятностью предполагать о состоянии выносе с элизионными водами больших количеств перечисленных элементов при начальных стадиях литогенеза глинистых осадков. Расчеты баланса органического вещества и карбонатов, а также воды, участвующей в литогенезе песчано-глинистых образований предгорного прогиба Восточного Предкавказья, выполненные В. Н. Холодовым [13], показывают грандиозные масштабы процесса формирования газоводных растворов. С учетом объективного процесса выноса химических элементов из глинистых илов при литогенезе автором предлагается следующая модель формирования эпигенетических месторождений в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклиниория. Их образование определяется рядом факторов: наличием рудопроизводящих осадочных толщ, водоотдающих толщ, коллекторских горизонтов со структурными или литологическими ловушками с благоприятными геохимическими барьерами для осаждения полезных компонентов [2].

Рудопроизводящие осадочные толщи железа, полиметаллов, фтора литологически выражены глинистыми осадками, бария — аркозовыми пеммитами и частично глинистыми образованиями, магния — карбонатными породами. Водоотдающие толщи в рифейском разрезе представлены пачками и горизонтами глинистых образований. Коллекторские горизонты, где формируются залежи магнезита, сидерита, полиметаллов, флюорита, выражены карбонатными породами, барита — песчаниками и т. д. Ловушки, в которых формируются залежи называемых полезных ископаемых, являются такие структурные элементы, как крылья складок, моноклинали, зоны перекрытия коллекторских горизонтов экранами, зоны трещиноватости, брекчирования.

Особенностью предлагаемой модели эпигенетического рудообразования является то, что она рассматривает литологические комплексы

как квазизакрытые системы, в которых при литогенезе отложены растворы, обеспечивающие перераспределение внутри толщ субкларковых концентраций ряда элементов в рудные. Своей моделью рудное вещество по природе является первично-ным. Эндогенным фактором, способствовавшим перемещению вещества, явилась тепловая энергия Земли. Эпигенетические рождания в осадочных толщах Башкирского мегантиклинория воз-ят в процессе саморазвития пород и являются катагенетическими, гидроидными.

Заключение

Исследование в рифейском разрезе на Южном Урале постдинагенетических изменений осадочных пород, особенностей развития в них эпигенетического рудообразования позволяет вполне определенно уста-ть, что расположенный здесь рифейский осадочно-породный бассейн представлял собой крупную и единую область устойчивого компенсированного прогибания на глубину не менее 15 км и с невысоким термическим градиентом около 0.8°C на 100 м мощности. Образование эпигенетических залежей таких полезных ископаемых, как сидериты, золото, полиметаллы, бариты и др. связано с катагенезом рифейских пород. Таким образом, эпигенетическое рудообразование в осадочных толщах представляет собой частный случай литогенеза в рифейском осадочно-породном бассейне на Южном Урале.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анифиров Л. В. Карбонатный литогенез и связанное с ним рудообразование в зоне рифея Бакало-Саткинского района на Южном Урале // Стратиграфия и литогенетика докембрийских и раннепалеозойских отложений Урала. — Свердловск, 1982. — 86.
2. Анифиров Л. В. Рудообразование в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория // Геология зоны соединения Урала и Восточно-Европейской платформы. — Свердловск: УНЦ АН ССР, 1984. — С. 109—112.
3. Анифиров Л. В., Сульман А. М., Шур А. С. О метаморфизме сидеритов Бакальского месторождения на Ю. Урале // Ежегодник Института геологии и геохимии УНЦ АССР. — Свердловск, 1977. — С. 101—103.
4. Иванов С. Н. О доэрдовиковой истории Урала и предгеосинклинальном развитии коры вообще // Доэрдовикская история Урала. I. Общие вопросы. — Свердловск, 1980. — С. 3—27. (Препринт УНЦ АН ССР).
5. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов Бакальского и Саткинского месторождений / Борщевский Ю. А., Борисова С. Л., Лазур О. Г., Медведевская Н. И., Н. К. // Карбонатное осадконакопление и проблема зевапортов в докембрии: Тез. докл. IV Всесоюзн. семинара. — Ростов-на-Дону, 1978. — С. 98—100.
6. Заваринский А. Н. Результаты исследования магнезиальных месторождений в том районе в 1918 г. // Горное дело — 1920. — № 2—3. — С. 37—39.
7. Заваринский А. Н. К вопросу о происхождении железных руд Бакала. — М., 1910.
8. Парничев В. П. Вулканы и рафтогенез в поздне-докембрийской истории южной части Русской платформы // Глобальные палеовулканические реконструкции и их образования: Тез. докл. IV Всесоюзн. палеовулкан. симпозиума. — Хабаровск, 1979. — С. 88—90.
9. Прокин В. А. Металлогенез Центрально-Уральского поднятия на Южном Урале // Докторская история Урала. 4. Тектоника, металлогенез. — Свердловск, 1980. — 36 (Препринт УНЦ АН ССР).
10. Пучков В. Н. Тектоническая природа западного склона Урала // Метаморфизм склонов западных зон Урала. — Свердловск: УНЦ АН ССР, 1984. — С. 3—9.
11. Феоктистов В. П., Миркина С. Л., Лихнинский Ю. С. Изотопный состав рудных полиметаллических месторождений западного склона Южного Урала // ДАН СССР, 1978. — Т. 238, № 5. — С. 1214—1217.
12. Холодов В. Н. Формирование газоводных растворов в песчано-глинистых толщах осадочных бассейнов // Осадочные бассейны и их нефтегазоносность. — М.: Наука, 1983. — С. 28—44.
13. Холодов В. Н. Постседиментационные преобразования в алювиальных бассейнах. — М.: Наука, 1983. — 152 с.
14. Turekian K. K., Wedepol K. H. Distribution of the elements in some major parts of the earth's crust, Geol. Soc. Amer. Bull., 1961, v. 72, p. 175—191.

Е. А. Слободчиков

**СТРОЕНИЕ И ГЕНЕЗИС ТАСТЫСАЙСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУРЫ
(Южные Мугоджары)**

Тастысайская кольцевая структура располагается в южной части Талдыкского гнейсо-мigmatитового комплекса, слагающего юго-восточную часть Восточно-Мугоджарского поднятия. Центр структуры находится на левобережье среднего течения речки Ортакараасай, правого притока реки Иргиз.

Тастысайская кольцевая структура на периферии сложена преимущественно плагиогнейсами, а в центре — разгнейсованными диорито-подобными породами с гранитным ядром. Резкая (текtonическая) граница диоритогнейсов с окружающей их гнейсовой толщей, сходство внешнего облика диоритогнейсов с диоритами и габбро-диоритами, а также постепенный (через «пересланование») переход диоритогнейсов в граниты центральной части структуры породили у ряда исследователей [1, 2, 6] представление о структуре как о сложной кольцевой интрузии габбро-гранитного состава.

Детальные структурные, петрографические и петрологические исследования показали, что Тастысайская кольцевая структура, представляя собой синформу зонального строения, является корнями глубоко эродированного гранито-гнейсового купола.

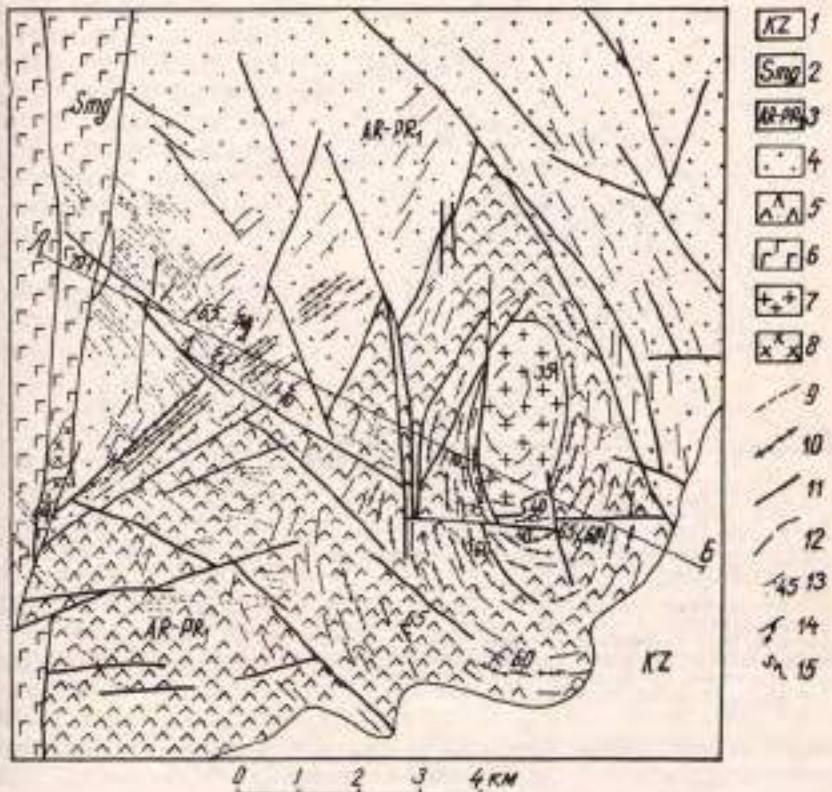
Тастысайская кольцевая структура (рис. 1) имеет вытянутую в меридиональном направлении овальную форму, достигая в широтном сечении 8 км. Южная и юго-восточная части структуры скрыты под кайнозойским чехлом рыхлых отложений. С запада кольцевая структура обрезана Борлинским разломом и контактирует по нему с вулканитами мугоджарской свиты. С севера и северо-востока она, постепенно выдавливаясь, переходит в линейноскладчатое основание Талдыкского гнейсо-мigmatитового комплекса.

Периферическая часть кольцевой структуры, отделенная от внутренней системами диагональных разломов северо-западного и северо-восточного простирания, сложена мигматизированными гнейсами и гранитогнейсами с подчиненными им прослоями мелкозернистых амфиболитов. Для этих пород характерны следующие минеральные ассоциации: кварц+плагиоклаз № 20—30+биотит; кварц+плагиоклаз № 25—30+биотит+гранат; кварц+плагиоклаз № 15—20+калиевый полевой шпат+биотит; роговая обманка+плагиоклаз № 36—46+кварц. Плагиогнейсы и мелкозернистые (региональнометаморфические) амфиболиты этой части структуры не отличаются от аналогичных пород гнейсовой толщи остальной части Талдыкского комплекса (рис. 2).

На западе и северо-западе кольцевой структуры, на участках, наиболее удаленных от центра, фиксируется преимущественно юго-восточное падение пород, то есть к центру структуры. Однако здесь достаточно выразительно и линейно-складчатое строение толщ. Простирание развитых здесь асимметричных складок волочения ориентировано вдоль крыла структуры, а рисунок их в поперечном сечении имеет западающую вергентность, что указывает на перемещение ядра структуры вверх к северо-западу. Аналогичная картина наблюдается и в северо-восточной части структуры, только здесь падение пород направлено к юго-западу, а складки волочения имеют северо-восточную вергентность, показывая перемещение ядра структуры вверх к северо-востоку.

Внутренняя часть кольцевой структуры, расположенная в клине, образованном разломами северо-восточного и северо-западного прости-

сложена комплексом диоритогнейсов с гранитным ядром в центре. Комплекс диоритогнейсов имеет сложное внутреннее строение, обусловленное чередованием крупнозернистых меданократовых, мезо- и макрократовых роговообманиковых, биотит-роговообманиковых гнейсов и амфиболитов. Породы состоят из плагиоклаза № 20–30 (40–60%), зеленой роговой обманки (20–40 %), бурого биотита (до 15 %) и



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-Б



Рис. 1. Схематическая литолого-структурная карта Тастысайской кольценной структуры:

1 — чехол рыхлых образований иоген-четвертичного возраста; 2 — силурийская система, ортозарские отложения; 3 — переклещенные архей и ранний претероэф; метаморфизованные в условиях фации альмандиновых амфиболитов осадочные и вулканические отложения; 4 — хлоритовые, гранитогнейсы и амфиболиты; 5 — двойниковые дигранитализированные псевдоморфы; 6 — слабо дифференцированные базальты, андезито-базальты и их туфы; 7 — интактитические граниты кольценной структуры; 8 — гранитоны изуказав-шунтонического комплекса; 9 — иильевые образования Оргаозарасайского дайкового пояса: гранит-порфирь, сингенит-порфирь, афириты кислого и среднего состава; 10 — кварц-полевошпатовые истасомы; 11 — разрывные нарушения; 12 — линии — структурные линии, отражающие предполагаемое залегание город на глубине; 13 — элементы залегания гнейсоватости; 14 — то же самое с указанием направления погружения зергатной линейности; 15 — складки волочения.

шица. Среди диоритогнейсов конформно их гнейсоватости часто развиваются скиалиты биотитовых и роговообманико-биотитовых плагиогнейсов и мелкозернистых амфиболитов. Переходы между всеми гнейсивидностями пород обычно постепенные.

Местами в диоритогнейсах просматриваются теневые сложнопересеченные полосчатые текстуры (рис. 3), отражающие интенсивную дис-

лоцированность пород субстрата, по которым были образованы диоритогнейсы.

Крупнозернистые структуры и часто такситовые текстуры диоритогнейсов резко отличают их от регионально-метаморфических мелкозернистых амфиболитов. По внешнему облику они напоминают базификаты гнейсо-амфиболитовой толщи северной части Талдынского комплекса, сформировавшиеся комплектиарно и в связи с процессами гранитизации, проявившимися в пределах нескольких купольных структур. Однако природа образования их различна: если базификаты формируются за счет привноса в регионально-метаморфические амфиболиты или плагиогнейсы фемических компонентов, то диоритогнейсы образуются при выносе кремнезема, натрия и калия при инертном поведении глинозема. Это отражается на диаграмме нормативных составов (см. рис. 2), где проекции составов диоритогнейсов располагаются в стороне от тренда амфиболитов (регионально-метаморфических и базификатов) и плагиогнейсов, отклонившись в сторону вершины L диаграммы, что указывает на повышенное содержание в них глинозема и щелочно-земельных элементов.

Гнейсоватость пород комплекса диоритогнейсов в плане располагается концентрически и погружается под крутыми углами ($45-70^\circ$) в направлении центра структуры.

В толще диоритогнейсов развито большое количество дайкообразных и линзообразных тел двуполевошпатовых гранитоподобных пород мощностью от десятков сантиметров до нескольких десятков метров и протяженностью до нескольких сотен метров.

Эти гранитоподобные породы состоят из кварца (30—40 %), альбит-олигоклаза № 10—15 (40—50 %), нерешетчатого калиевого полевого шпата (10—30 %) и биотита (до 3 %). Взаимоотношения калиевого полевого шпата с олигоклазом реакционные: калишпат более поздний.

Гранитоподобные породы залегают конформно гнейсоватости диоритогнейсов и имеют с ними постепенные переходы через биотит-рогово-обманково-олигоклазовые образования. Количество и размеры тел гранитоподобных пород закономерно увеличиваются к центру кольцевой структуры. Согласное с гнейсоватостью залегание тел гранитоподобных пород и постепенные переходы от них к диоритогнейзам (без эндогенитовых изменений) позволяют предположить метасоматическую природу этих пород.

В самом центре Тастьсайской кольцевой структуры располагается овальный массив гранитов размером 1×1.5 км, вытянутый в меридиональном направлении. По данным дешифрирования аэрофотоснимков в нем, так же, как и во вмещающих его диоритогнейсах, проявляется

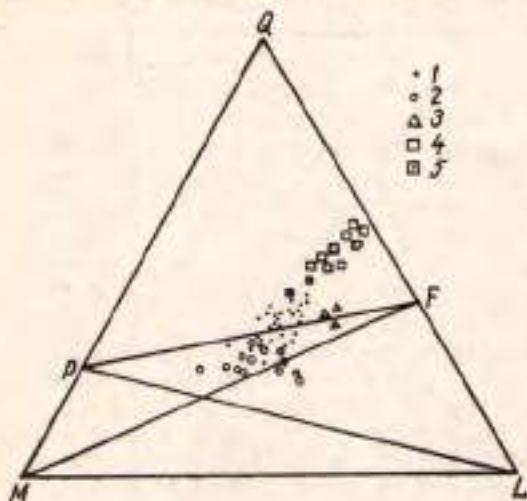


Рис. 2. Диаграмма состава гнейсов и амфиболитов Талдынского гнейсо-минералогического комплекса (по нормативно-молекулярному методу П. Ниггли)

1 — проекция состава регионально-метаморфических амфиболитов; 2 — проекция состава амфиболитов базификатов; 3 — проекция состава диоритогнейсов дегранитизированного основания Тастьсайской кольцевой структуры; 4 — проекция состава плагиогнейсов; 5 — проекция состава амфиболитовых гнейсов

клиновиши в сторону вершины L диаграммы, что указывает на повышенное содержание в них глинозема и щелочно-земельных элементов.

Гнейсоватость пород комплекса диоритогнейсов в плане располагается концентрически и погружается под крутыми углами ($45-70^\circ$) в направлении центра структуры.

В толще диоритогнейсов развито большое количество дайкообразных и линзообразных тел двуполевошпатовых гранитоподобных пород мощностью от десятков сантиметров до нескольких десятков метров и протяженностью до нескольких сотен метров.

Эти гранитоподобные породы состоят из кварца (30—40 %), альбит-олигоклаза № 10—15 (40—50 %), нерешетчатого калиевого полевого шпата (10—30 %) и биотита (до 3 %). Взаимоотношения калиевого полевого шпата с олигоклазом реакционные: калишпат более поздний.

Гранитоподобные породы залегают конформно гнейсоватости диоритогнейсов и имеют с ними постепенные переходы через биотит-рогово-обманково-олигоклазовые образования. Количество и размеры тел гранитоподобных пород закономерно увеличиваются к центру кольцевой структуры. Согласное с гнейсоватостью залегание тел гранитоподобных пород и постепенные переходы от них к диоритогнейзам (без эндогенитовых изменений) позволяют предположить метасоматическую природу этих пород.

В самом центре Тастьсайской кольцевой структуры располагается овальный массив гранитов размером 1×1.5 км, вытянутый в меридиональном направлении. По данным дешифрирования аэрофотоснимков в нем, так же, как и во вмещающих его диоритогнейсах, проявляется

центрическая неоднородность, а во время полевых исследований в источном контакте наблюдался постепенный переход диоритогнейсов в граниты через «переслаивание».

Породы массива представлены кали-натровыми гранитами и состоят из плагиоклаза № 15–20 (30–40 %), кварца (30–35 %), кали-

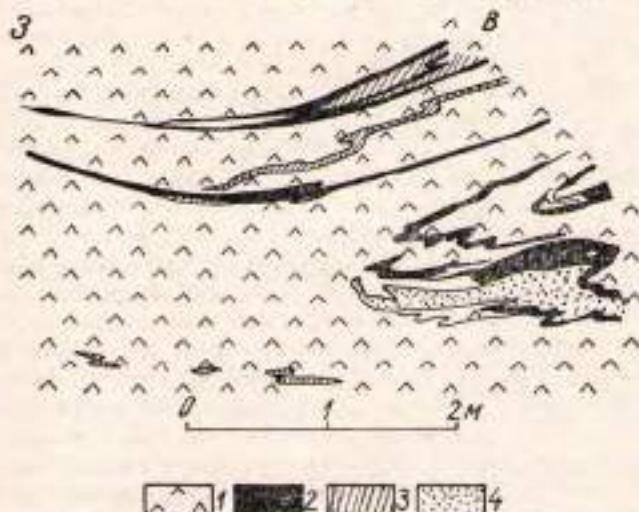


Рис. 3. Редиктовая плойчатая текстура в диоритогнейсах

1 — мезокративский диоритогнейс; 2 — мелкокративский диоритогнейс; 3 — пактогранитогнейс; 4 — крупнозернистый лейкокративский диоритогнейс

шата (25–30 %) и небольшого количества бурого биотита, иногда мусковита. В периферической части интрузивного тела в гранитах наблюдается замещение среднезернистого агрегата первичной породы крупнолейстовым олигоклазом и свежим непелитизированным калишпатом. Калишпат развивается в ассоциации с новообразованным кварцем. Эти изменения первичной породы логично увязываются с минеральным составом и реакционными взаимоотношениями олигоклаза и калиевого полевого шпата в дайкообразных гранитоподобных породах, залегающих среди диоритогнейсов конформно описываемому гранитному телу. Наложенную олигоклазизацию первичного двуполевошпатового гранита можно сопоставить с процессом образования кварц-олигоклазовых метасоматитов, залегающих среди диоритогнейсов, а последующую калишпатизацию гранитов с калишпатизацией, накладывающейся и на кварц-олигоклазовые метасоматиты. Кстати, местами среди диоритогнейсов наблюдаются случаи, когда олигоклазизация и калишпатизация несколько разобщены пространственно. В таких случаях на кварц-олигоклазовые метасоматиты натрового этапа, залегающие согласно с гнейсоватостью диоритогнейсов и имеющие с ними постепенные переходы, с резкими границами накладываются кварц-калишпатовые метасоматиты калиевого этапа.

Необходимо отметить, что в западной части кольцевой структуры кварц-олигоклаз-калишпатовые метасоматиты локализованы в секущих линейных структурах, наследующих зоны бластокатаклизитов сев.-восточного простириания. Приуроченность их к зонам дислокационного метаморфизма наложила отпечаток на структуры и текстуры пород. Присутствующий в породах в небольшом количестве биотит сгруппирован в сильно вытянутые мелкие петробыльцы, имеющие строгую линейную ориентировку. Структуры пород обычно мелкозернистые деформа-

ционные. Зерна кварца преимущественно вытянуты в одном направлении, характеризуются взаимным прорастанием и обладают волнистым погасанием. Ближе к периферическим частям зоны в породах встречаются реликты бластомилонитовых структур. На периферии зоны кварц-альбит-калишпатовые метасоматиты через бластомиловиты и бластокатализиты переходят в регионально метаморфизованные породы. Состав метасоматических пород: кварц (40—50 %), нерешетчатый калишпат (20—40 %), олигоклаз (10—15 %), биотит (1—3 %).

Южная часть Тастысайской кольцевой структуры в направлении с юго-востока на северо-запад пересечена дайковым поясом шириной около 4 км. Пояс сложен дайками фельзит-порфиров, гранит-порфиров, мелко- и среднезернистых гранитов, реже сиенитов, сиенит-порфиров, мелкозернистых биотитовых и роговообманковых лампрофиров. Наиболее древними из перечисленных являются дайки фельзит-порфиров, гранит-порфиров и гранитов. В ряде случаев наблюдались пересечения их дайками сиенит-порфиров и сиенитов. Самыми поздними являются дайки лампрофиров. Наблюдается примечательная закономерность в пространственном расположении дайк разного состава. Дайки фельзит-порфиров слагают дайковый пояс в крайней его северо-западной части, выходя из гнейсовой толщи в силурний вулканогенный комплекс. К юго-востоку, около границы гнейсовой толщи с диоритогнейсовой, дайки порфиров постепенно замещаются гранит-порфираторами, испытывая более полную раскристаллизацию. Внутри диоритогнейсовой толщи, но еще на некотором расстоянии от массива гранитов, встречаются дайки биотитовых гранитов, сиенит-порфиров и сиенитов. Вблизи гранитного массива (ближе 1 км) дайки гранитов и сиенитов не встречаются. В противовес им дайки лампрофиров пересекают насквозь центральную часть кольцевой структуры, не проникая только в гранитный массив. Изменения структуры пород в зависимости от расположения их относительно центра кольцевой структуры не наблюдается. Необходимо добавить, что дайки всех видов пересекают тела кварц-олигоклаз-калишпатовых метасоматитов, как концентрические, так и из линейной зоны северо-восточного простираия.

Приведенные особенности строения Тастысайской кольцевой структуры, характер взаимоотношений слагающих пород позволяют восстановить условия ее формирования.

Метаморфические и структурные преобразования пород в пределах рассматриваемой структуры были вызваны проявлениями флюидного сиалического плутонометаморфизма, наложившегося на продукты ранее проявившегося блокового сиалического плутонометаморфизма*. Вопросы геологии и условий проявления блокового сиалического плутонометаморфизма рассмотрены в [1, 2, 4, 5, 7] и здесь не приводятся. В результате проявления метаморфических процессов, вызванных притоком глубинных флюидов в зону пересечения крупных разломов северо-восточного (отражением которого возможно является зона метасоматитов по бластокатализитам) и северо-западного простираия (отражением которого является дайковый пояс), была сформирована Тастысайская диапироидная структура диаметром около 8 км. Формирование структуры происходило в 2 этапа.

На прогрессивном этапе флюидного плутонометаморфизма осуществлялись минеральные преобразования на уровне фации альмандиновых амфиболитов, о чем говорят ассоциации минералов: кварц + пла-

* Сиалический плутонометаморфизм может быть разделен на блоковый — вызванный перемещением в верхние структурные этажи ремобилизованных блоков кристаллического фундамента, флюидный — вызванный переносом тепла мощными флюидными потоками, и плутонический — обусловленный внедрением крупных интрузивных масс.

тиоклаз № 15—20 + калиевый полевой шпат + биотит; роговая обманка + плагиоклаз № 36—46 + кварц. В связи с изофациональностью преобразований обоих типов метаморфизма (блокового и флюидного) провести границу между их образованиями не представляется возможным.

Сопровождающие plutонометаморфизм процессы анатексиса и гранитизации, а также связанное с ними разуплотнение пород вызвали формирование купольной структуры с гранитным расплавом в центре. Перемещение гранитного расплава было, видимо, значительным, поскольку массив приобрел каплевидную форму. Выпавка анатектического расплава и гранитизация окружающих (в основном эродированных) пород привели к дегранитизации пород основания купола и формирования по плагиогнейским диоритогнейским с пониженными содержаниями кремнезема, калия и натрия и повышенными содержаниями инертного глиноzemка и щелочноземельных элементов.

На регressiveном этапе флюидного plutонометаморфизма в породах диапира проявились процессы кислотного выщелачивания на уровне микроклин-альбит-кварцевой субфации полевошпат-кварцевой фации. В диоритогнейсах эти процессы привели к формированию согласных с гнейсоватостью микроклин-альбит-кварцевых линзообразных тел, конформно огибающих гранитное ядро структуры, а на периферии структуры — линейной зоны таких же метасоматитов.

После прекращения действия процессов кислотного выщелачивания купольная структура была пересечена поясом даек фельзит-порфиров и сиенит-порфиров. Поскольку центральная часть диапира была еще «горячей», то высокая пластичность пород препятствовала разрывообразованию в дайки здесь не формировались. На некотором удалении от центра структуры, где породы были еще достаточно прогреты, но уже могли подвергаться разрывообразованию, расплавы гранитного и сиенитового состава оставали медленней, могли полностью раскристаллизоваться и сформировали дайки гранитов и сиенитов. В более позднее время, после полного остывания купола, он еще раз был пересечен уже насквозь поясом даек лампрофиров, пространственно наследующих более ранний пояс даек гранитоидов и сиенитов.

Время проявления флюидного сиалического plutонометаморфизма принимается средне-верхнепалеозойским на основании взаимоотношений его с комплексом даек, возраст которого оценивается М. А. Гаррис в 270—250 млн. лет [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бирюков В. М. Петрологические особенности дискордантных интрузий Южных Мугоджар // Вопросы геологии и геохимии гранитов Урала: Тр. Ин-та геол. и геоф. УНЦ АН СССР, вып. 122.—Свердловск, 1975.—С. 113—125.
2. Бирюков В. М. Петрология гнейсово-магматитовых комплексов Восточно-Мугоджарского поднятия: Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук.—Л., 1979.—26 с.
3. Гаррис М. А. Этапы магматизма и метаморфизма в докерской истории Урала и Приуралья.—М.: Наука, 1977.—295 с.
4. Кейльман Г. А. Магматитовые комплексы подвижных поясов.—М.: Недра, 1974.—183 с.
5. Миловский А. В. и др. Докембрий и нижний палеозой Западного Казахстана.—М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977.—268 с.
6. Старков В. Д., Знаменский И. Д. Гранитондный магматизм Восточно-Мугоджарского поднятия.—М.: Наука, 1977.—129 с.
7. Хайбуллин Р. Р. Региональный метаморфизм и гранитизация пород докембрийского фундамента Восточно-Мугоджарского антиклинария: Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук.—Алма-Ата, 1981.—22 с.

Г. А. Кейльман, В. Г. Лукин

АЛМАЗЫ В ГНЕЙСОВОМ КОМПЛЕКСЕ

В одном из крупнейших гнейсово-мигматитовых комплексов Урала, слагающем Сысертско-Ильменогорский антиклиниорий [2], в пироксен-гранатовых породах, наряду с другими высокобарническими минералами, обнаружены акцессорные алмазы.

В структурно-тектоническом отношении антиклиниорий представляет группу куполовидных структур, несколько удлиненных согласно общегородским простирациям, разделенных узкими веерообразными синклиниорными зонами.

В ядрах куполов залегают в той или иной мере гранитизированные гнейсы, представляющие неоднократно ремобилизованные раннедокембрийские образования, уровень метаморфизма их неизменно соответствует амфиболитовой фации. Среди гнейсов изредка обнаруживаются минеральные ассоциации пангранулитового метаморфизма, свойственного супракрустальным комплексам эозея. Обрамление куполов представлено породами позднего протерозоя и раннего палеозоя, метаморфизм которых с высоким градиентом, так же, как и гранитизация, убывает по мере удаления от гнейсового ядра. Как положительные, так и отрицательные структуры запрокинуты на запад, что свидетельствует о динамическом давлении с восточного фланга.

Алмазоносные породы располагаются в южной части восточного крыла Шумихинского гнейсового купола (см. рисунок), занимающего в антиклиниории крайнее северо-восточное положение. Вдоль крыльев упомянутого купола устанавливаются зоны повышенного давления, фиксирующиеся возникновением гравитосодержащих минеральных ассоциаций.

Гранат-пироксеновые породы залегают среди графитсодержащих тел, ориентированных согласно с простирацией сланцеватости вмещающих пород. Длина их по простирации достигает 200 м, ширина — 15—25 м, границы с окружающими породами местами отчетливы, в ряде случаев — нерезкие. Зона развития этих пород в общем прослеживается на протяжении несколько более 500 м.

Схема геологического строения Шумихинского гнейсового купола

Верхний протерозой — нижний палеозой: 1 — кварциты и слюдяно-кварцевые сланцы; 2 — амфиболиты; нижний докембрий: 3 — двойто-гнейсы; 4 — двуслюдянные гнейсы с кианитом; 5 — биотитовые плиагногнейсы с гранатом; 6 — гранаты; 7 — метагаббро; 8 — метапироксены; 9 — блокоминераты; 10 — разрывные зарубежия; 11 — тектоническое оправление гнейсового динклиноида; 12 — региональные разломы; 13 — нестонахождение алмазоносных пород

Гнейсы, образуя серию кулисообразно расположенных линзообразных тел, ориентированных согласно с простирацией сланцеватости вмещающих пород. Длина их по простирации достигает 200 м, ширина — 15—25 м, границы с окружающими породами местами отчетливы, в ряде случаев — нерезкие. Зона развития этих пород в общем прослеживается на протяжении несколько более 500 м.

В сложении описываемых пород участвует несколько разновремен-

ных парагенезисов, «кульмиационным» среди которых является гранат + клинопироксен + основной иллюгоклаз. На этот парагенезис накладываются порой весьма интенсивные эпидотизация и окварцевание. Состав главных минералов приведен в таблице.

Таким образом, гранат содержит максимум грессулярового минала, а пироксен близок к салиту. В лаборатории ВНИИГеолнеруд под руко-

Состав главных минералов *

Содержание	Гранат		Пироксен	
	мас. %	форм. вд.	мас. %	форм. вд.
SiO ₂	38,00	3,01	52,62	1,89
TiO ₂	0,62	0,04	0,24	0,01
Al ₂ O ₃	19,12	1,79	1,50	0,05
Fe ₂ O ₃	2,17	0,13	7,15	0,20
FeO	18,26	1,21	12,39	0,38
MgO	1,06	0,12	9,83	0,54
MnO	1,12	0,07	0,18	0,01
CaO	19,15	1,63	22,51	0,88
Na ₂ O	—	—	0,95	0,03
K ₂ O	—	—	0,04	0,00
Сумма	98,50	8,00	101,21	4,00

* Анализы выполнены в ЦЛ ПГО «Уралгеология».

водством Р. А. Хайдарова путем термохимической обработки по методике ЦНИГРИ из описываемых пород выделены среди прочих акцессориев муассонит, корунд, алмаз и высококристаллический графит. В одной из проб весом около 2 кг обнаружено четыре кристалла алмаза желтовато-зеленого цвета размером до 0,1 мм, обладающих отчетливой октаэдрической огранкой. В другой пробе габитус зерен алмаза округло-сглаженный.

В литературе сведения о метаморфогенных «коровых» алмазах пока весьма ограничены. Наиболее детальное описание алмазоносных минеральных ассоциаций, обнаруженных в метаморфических породах Северного Казахстана, выполнено Н. В. Соболевым, В. С. Шацким и др. [1, 4, 6]. Кратко перечислим возможные способы образования алмазов в условиях земной коры [7, 8], авторы оставляют этот вопрос открытым, отмечая, что геодинамическая модель возникновения локального сжатия на коровом уровне пока еще не разработана. Это обстоятельство связано, по-видимому, с тем, что проявления таких алмазов и сопровождающих их высокобарических парагенезисов рассматривались лишь с минералогической или минералого-петрографической точки зрения без учета их структурной позиции.

Выше было показано, что описываемые высокобарические образования располагаются в зоне сопряженного действия интенсивного давления, связанного с формированием гнейсового диапира и общеуральских стрессовых напряжений, направленных с востока на запад. Возможно, что некоторую — второстепенную — роль сыграло наличие здесь жесткого аподиоритового массива. Механизм трансформации векторного давления в давление флюидной фазы, определяющее конструктивное минералообразование, рассмотрен при изучении этого фактора метаморфизма в общетеоретическом аспекте [3].

Наличие в гранат-пироксеновых породах, так же, как и во вмещающих их гнейсах, графита и наблюдающиеся между ними постепенные

переходы могут рассматриваться как указание на возникновение их в процессе базификации гнейсов, что вообще имеет место в условиях локально повышающегося давления [2, 5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алмазы в метаморфических породах Северного Казахстана / Соболев Н. В., Шацкий В. С. и др. // Геология метаморфических комплексов: СГИ.—Свердловск, 1989.—С. 21—35.
2. Кейльман Г. А. Магматитовые комплексы подвижных поясов.—М.: Недра, 1974.—200 с.
3. Кейльман Г. А. Роль давления при метаморфизме // Геология метаморфических комплексов: СГИ.—Свердловск, 1989.—С. 4—12.
4. Мартовицкий В. П., Надеждин Е. Д., Екимова Т. Е. Внутреннее строение и морфология мелких некамберлитовых алмазов // Минералогический журнал.—Киев: Наукова Думка.—1987, т. 9.—№ 2.—С. 26—37.
5. Утенков В. А. Высокоабарические базификаты в Сысертско-Ильменогорском гнейсово-магматитовом комплексе // Геология метаморфических комплексов: СГИ.—Свердловск, 1989.—С. 62—72.
6. Шацкий В. С., Соболев Н. В. Пироксен-плагиоклазовые симплектиты в эклогитах Кокчетавского массива // Геология и геофизика.—1985, № 9.—С. 83—89.
7. Smith D. C. Coesite in clinopyroxene in Galedonites and its implication for geodynamics. *Nature*, 310, n. 5979, 1984, 641—644.
8. Schreyer W. Subduction of continental crust to Mantle depth: petrological evidence. *Episodes*, III, 1988, 97—104.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПОДВИЖНЫЙ КЕРНООРИЕНТАТОР МПК-59/93

Разработчик — Ошкордик О. В.

Керноориентатор предназначен для отбора ориентированного керна при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.

Керноориентатор выполнен в виде малогабаритной приставки к стандартному колонковому набору.

Преимущества:

- ориентация керна производится непосредственно в процессе бурения;
- отбор керна возможен и в монолитах, и в трещиноватых размыкаемых породах;
- конструкция керноориентатора позволяет применять его при бурении диаметрами 59, 79 и 93 мм;
- прост в изготовлении и эксплуатации;
- наличие дублирующих датчиков практически исключает получение ложных данных;
- замена ориентатора на блок измерительной аппаратуры позволяет вести отбор высоконформативных проб непосредственно в процессе бурения.

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ И ГЕОХИМИЯ

552.321.5/6 (470.5)

О. К. Иванов, В. А. Вилисов

**ФЛОГОПИТОВЫЕ УЛЬТРАМАФИТЫ В КОНЦЕНТРИЧЕСКИ-ЗОНАЛЬНЫХ
ДУНИТ-ПИРОКСЕНИТОВЫХ МАССИВАХ
ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА**

До последнего времени флогопитовые ультрамафиты не были известны в концентрически-зональных ультрамафических массивах КЗУМ складчатых областей [8, 9, 10, 11], в отличие от платформенных аналогов КЗУМ — щелочно-ультраосновных массивах платформ, это типичные и широко развитые образования [3, 14]. Открытие экзотических пород расширяет спектр признаков обенх формаций и ставит вопрос о причинах образования флогопитовых ультрамафитов КЗУМ Урала. А поскольку массивы Платиноносного пояса являются связанным генотипом формации, то проблема флогопитовых ультрамафитов представляет общий для КЗУМ складчатых областей интерес.

Флогопитовые ультрамафиты встречены нами в Светлоборском пироксенит-дунитовом массиве при просмотре керна, пробуренного на Чумском месторождении в восточном контакте массива.

Петрология Светлоборского массива

Светлоборский массив является составной частью Качканарского многофазного интрузивного комплекса на Северном Урале. Комплекс, лежащий в Платиноносный пояс Урала, состоит из Качканарского габбро-пироксенитового plutона, тяготеющих к нему пироксенит-дунитовых массивов Светлого и Вересового бора Исовских плагиогранитных массивов, объединенных пространственной близостью и приуроченностью к крупному гравитационному максимуму (рис. 1). В пределах комплекса выделяется три ассоциации пород: ультрамафическая, габбродиоритовая и гранитоидная с резким преобладанием на современном разрезе ультрамафитов [2, 7, 12, 15].

Светлоборский пироксенит-дунитовый массив располагается к западу от Качканарского plutона в 1,5 км от его контакта, отделяясь полосой кытлымитов, и интерпретируется как апофиза Качканарского plutона.

Массив залегает среди зеленых сланцев О₁, вблизи массива превращенных в роговники, микроамфиболиты, кытлымиты и скарноиды, ошибочно принятые В. Г. Фоминых и др. [17] за эклогиты. Размеры массива 7,6×4,5 км, простиранье согласное. Массив имеет классическое для КЗУМ строение и состоит из дунитового ядра размером 6,7×2,4 км

и клинопироксенитовой оболочки шириной до 1,4 км, сложенной от внутренних частей к внешним из верлитов, оливиновых, мономинеральных и магнетитовых клинопироксенитов (рис. 2). В западном и восточном контактах клинопироксениты сильно тектонизированы и в значительной степени замещены горнбледитами. Габброиды имеют ограничение

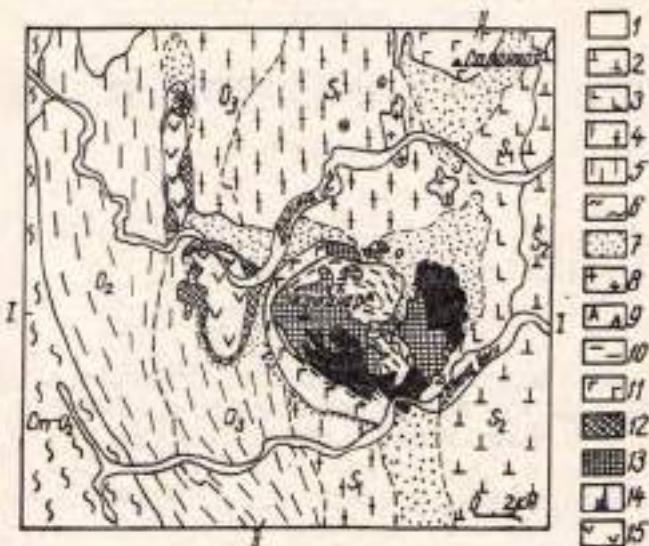


Рис. 1. Схематическая карта Качкаварского интрузивного комплекса и Светлоборского массива (A) По В. А. Решитко [15] и И. Д. Соболеву.

Условные обозначения: 1 — альковий, 2 — вулканиты андезитового состава S_0 , 3 — порфириты базальтовые и андезито-базальтовые S_1 , 4 — амфиболиты по основным вулканитам, 5 — зеленые сланцы с прослоями терригического материала O_1 , 6 — терригенные сланцы Центрально-Уральского поднятия, 7 — роговики и кальцититы, 8 — эпиграфиты, 9 — анортитовые габбро и апторозиты, 10 — конкавиты и метасоматические габброиды, 11 — габбро-корниты, пироксено- и амфиболовое габбро, 12 — клинопироксениты иллюминитизированные, 13 — клинопироксениты магнетитовые, 14 — оливиновые клинопироксениты, 15 — дуниты

ченное распространение и представлены мелкими линзовидными телами амфиболовых соссюртизированных разностей по периферии массива. Именно их воздействием вызывается описанный выше контактный метаморфизм амфиболитовой фации.

Положение и состав флогопитовых ультрамафитов

Флогопитовые ультрамафиты установлены в клинопироксенитовой оболочке восточного контакта и в дайках среди дунитового ядра. Дайки сложены флогопит-клинопироксеновыми и флогопит-хромдиопсидовыми породами мощностью до 1 м, местами с преобладанием флогопита. Состав их не мог быть изучен, так как в коре выветривания флогопит полностью замещен вермикулитом и сунгулитом.

В пределах пироксенитовой оболочки флогопитовые ультрамафиты установлены скважинами в районе Кучумской магнитной аномалии (рис. 3). Оболочка шириной до 900 м имеет стандартное зональное строение, но тектонически сильно нарушена. Внутренняя зона шириной до 100 м сложена оливиновыми клинопироксенитами, внешняя — мономинеральными и магнетитовыми клинопироксенитами, сменяемыми флогопитовыми и флогопит-магнетитовыми клинопироксенитами, частично или полностью замещенными горнбледитами и флогопитовыми горн-

блендитами, в свою очередь замещенными флогопитовыми гориблендит-магнетитами. К востоку от них располагаются кытлымиты и роговики, отделяющие Светлоборский массив от Качканарского. Ширина зоны замещающих пород варьирует от 170—240 до 1300 м.

Флогопитовые ультрамафиты слагают два участка. Северный, входящий в состав оболочки, имеет размеры 450×1100 м и состоит из магнетит-флогопит-клинопироксеновых пород шириной до 100 м и длиной до 500 м, окруженнных зонами флогопит-клинопироксеновых пород шириной до 70 м, частично или полностью замещенных гориблендитами. Южный участок приурочен к текtonическому блоку гориблендитов, отделенных от массива стометровой зоной кытлымитов. В части блока, ближайшей к массиву, установлена зона флогопитовых гориблендитов шириной 50—60 м.

Флогопитовые ультрамафиты представлены нормальзериристыми и пегматоидными безамфиболовыми разностями. Первые представлены флогопитовыми, флогопит-пироксеновыми породами, флогопитовыми верлитами и клинопироксенитами. Флогопитовые клинопироксениты — среднезернистая порода с 15—50 % флогонта, 50—80 % клинопироксена, до 15 % амфибала и до 10 магнетита. Магнетит-флогопит-клинопироксеновая порода мелко- и среднезернистая с 10—50 % флогопита, 20—70 % клинопироксена, до 30 % магнетита и до 20 % амфибала. Характерная особенность пород — четкий ксеноморфизм флогопита к клинопироксену и частое развитие на контакте с последним бурого плеохроирующего амфибала, а также отсутствие в магнетитсодержащих разностях плеонаста — типичного минерала магнетитовых клинопироксенитов качканарского типа.

Амфиболсодержащие флогопитовые ультрамафиты представлены флогопит-амфибол-диопсидовыми породами и флогопитовыми гориблендитами. Флогопит-амфибол-диопсидовые породы темно-зеленые пятнистые средние и мелкозернистые с варьирующим содержанием амфибала и клинопироксена и с 20—30 % флогопита. Флогопитовые гориблендиты — черные и зеленовато-черные тонко- и мелкозернистые породы с флогопитом от единичных пластинок до 30 %.

Пегматоидные разности представлены флогопитовыми гориблендитами и флогопит-амфибол-клинопироксеновыми породами, грубозернистыми (1—2 см) с акессорным аватитом и флогопитом в пластинках до 2×1 см. Кроме описанных разностей, наблюдались редкие жилки

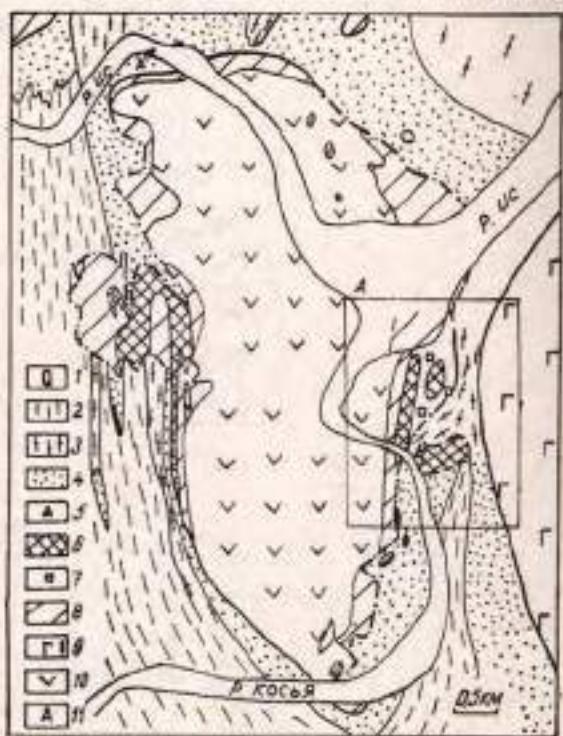


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Светлоборского пироксенит-дунитового массива. По О. К. Иванову с упрощением.

Условные обозначения: 1 — аллювий, 2 — зеленые сланцы, 3 — микроамфиблаты, 4 — кытлымиты, 5 — скважины, 6 — гориблендиты, 7 — флогопитовые ультрамафиты, 8 — клинопироксениты, 9 — хриболовые габбро, 10 — дуниты серпентинизированные, 11 — детально изученный участок

флогопитовых и пироксен-флогопитовых пород, секущих флогопитовые и обычные клинопироксениты.

Флогопитсодержащие ультрамафиты отличаются повышенным содержанием K_2O от 1,2 до 5 %, реже 7,7 % и глинозема (4,7—10,6 %).

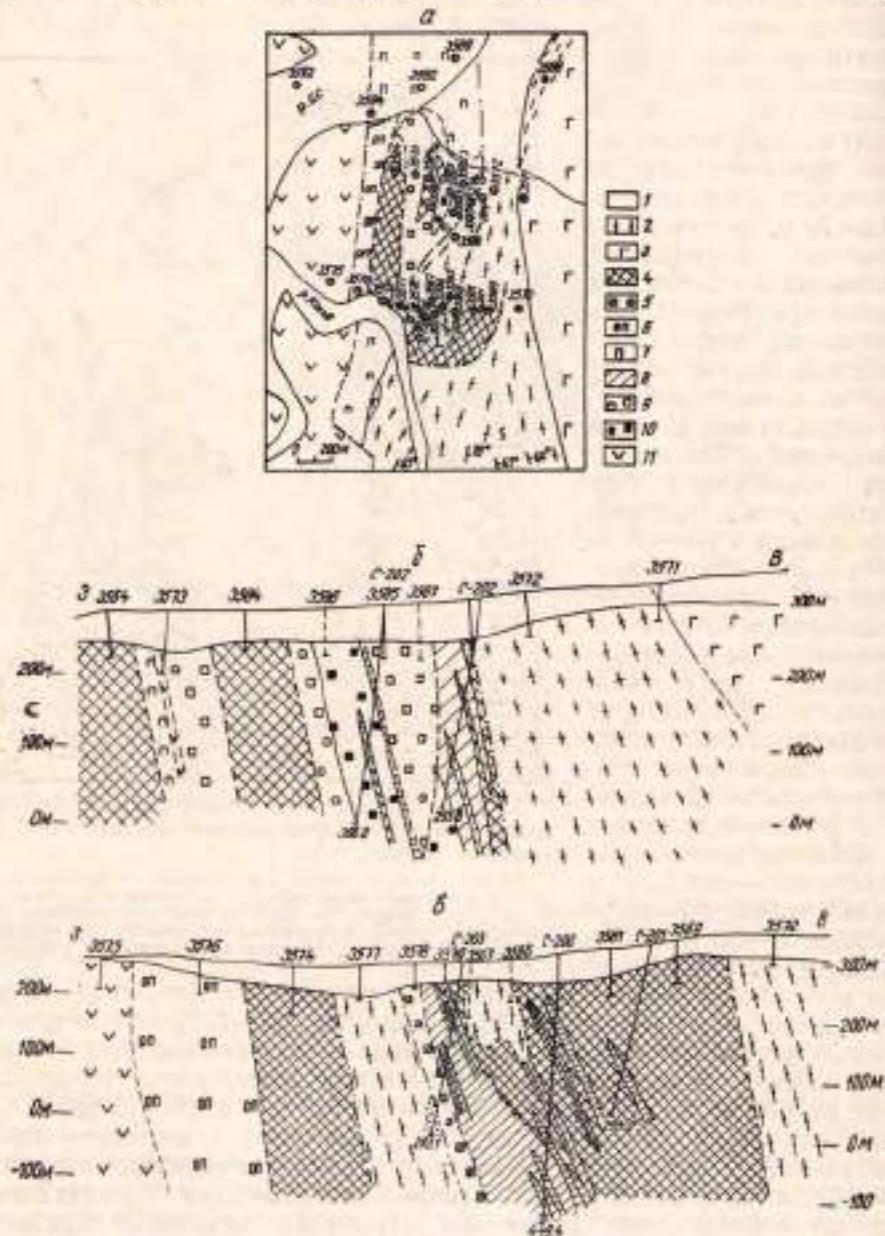


Рис. 3. Схематическая карта Кучумского месторождения (а) и разрезы (б, в) со снятым чехлом делювиальных отложений.

Условные обозначения: 1 — кальцит, 2 — кальцититы, 3 — габбройды, 4 — горибледиты, 5 — флогопитовые горибледиты, 6 — оливиновые клинопироксениты, 7 — новоминеральные клинопироксениты, 8 — флогопитовые горибледиты, 9 — флогопит-клинопироксеноевые породы, 10 — магнетит-флогопит-клинопироксеноевые породы, II — дуниты серпентинизированные.

тогда как по содержанию титана и суммарного железа они не отличаются от бесфлогопитовых ультрамафитов (табл. 1). Железистость пород варьирует от 14,6 до 40,5 % и зависит от содержания магнетита,

Таблица 1

Химический состав флогопитовых ультрамафитов, мас.%

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	42,99	40,65	37,98	46,94	40,82	48,56	51,51	51,14	40,18
TiO ₂	0,52	1,55	1,88	0,80	1,56	0,45	0,50	0,34	1,58
Al ₂ O ₃	5,19	10,40	8,47	5,86	7,21	6,11	4,81	4,67	10,58
Cr ₂ O ₃	0,53	0,09	0,02	0,04	0,02	0,42	0,03	0,25	0,03
Fe ₂ O ₃	11,96	11,88	22,12	11,30	21,03	6,76	7,50	5,91	15,04
MnO	0,19	0,06	0,13	0,10	0,15	0,07	0,12	0,08	0,13
MgO	27,73	19,09	16,37	15,31	13,75	17,64	13,94	17,52	13,56
CaO	5,13	4,44	8,21	14,42	11,96	13,33	17,65	15,69	9,47
Na ₂ O	0,59	0,49	0,18	0,25	0,31	0,37	0,34	0,22	1,44
K ₂ O	2,46	7,74	4,97	2,52	3,07	3,52	1,22	2,19	4,07
П.п.п.	3,49	1,86	0,32	0,55	0,23	0,87	0,62	0,91	0,85
V ₂ O ₃	0,02	0,03	0,005	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	0,04
P ₂ O ₅	0,38	0,00	0,02	0,03	0,13	0,03	0,04	0,04	1,10
Сумма	100,40	98,28	100,69	98,12	100,27	98,01	98,23	98,88	98,05
F _{mag}	17,89	23,9	40,5	27,1	43,6	16,2	20,9	14,6	35,9

Примечание: 1 — верлиты флогопитовые мелкозернистые серпентинизированные, ски. 203, гл. 229 м.; 2 — клинопироксено-флогопитовые городы, ски. 3587, гл. 34 м.; 3 — клинопироксен-флогопитовые среднозернистые породы, ски. 3586, гл. 34 м.; 4 — флогопит-амфибол-клинопироксеновые среднезернистые породы, ски. 204, гл. 278, 7 м.; 5 — флогопит-магнетит-клинопироксено-порода мелко-зернистая, ски. 202, гл. 260 м.; 6 — флогопит-магнетит-клинопироксено-порода крупнозернистая, ски. 3585, гл. 63,6 м.; 7 — магнетитодержащий клинопироксено-крупнозернистый, ски. 3585, гл. 294 м.; 8 — пегматит одианит-флогопит-магнетит-клинопироксено-порода, ски. 202, гл. 118,5 м.; 9 — пегматит флогопит-амфибол-клинопироксено-порода, ски. 202, гл. 279,5 м. Анализы выполнены в ИГИГ УрО РАН на рентгено-спектрометре СРМ-18. Аналитик Л. Н. Плюсова.

Таблица 2

Химический состав минералов флогопитовых ультрамафитов

Компоненты	Флогопит					Пироксен	Амфибол		Магнетит	
	1	2	3	4	5		6	7	8	9
SiO ₂	36,86	38,58	40,50	39,09	37,79	51,34	42,62	41,29	0,00	0,05
TiO ₂	1,51	1,78	1,46	1,69	1,67	0,45	1,27	1,56	0,83	4,57
Al ₂ O ₃	17,98	16,34	14,21	15,55	18,50	3,13	15,56	14,16	0,17	2,00
Cr ₂ O ₃	0,06	0,05	0,03	0,12	0,40	0,02	0,06	0,00	0,65	0,47
Fe ₂ O ₃	9,96	9,19	7,18	7,15	8,49	6,09	10,77	13,10	73,18	62,59
FeO	—	—	—	—	—	—	—	—	24,26	28,45
MnO	0,11	0,08	—	0,05	0,10	0,15	0,12	0,20	0,07	0,33
NiO	—	0,00	—	—	—	0,00	0,02	—	0,01	0,04
CoO	—	0,00	—	—	—	0,00	0,00	—	0,08	0,10
ZnO	—	0,03	—	—	—	—	—	—	0,01	0,12
MgO	20,33	19,53	22,19	22,05	19,29	13,67	14,42	13,41	0,27	0,87
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	23,82	12,43	12,63	0,00	0,00
Na ₂ O	0,21	0,30	0,28	0,27	0,45	0,20	1,07	1,18	—	—
K ₂ O	8,80	9,89	9,65	9,57	8,88	0,00	1,64	0,44	—	—
H ₂ O+	4,02	4,24	4,25	4,21	4,19	1,05	1,98	1,97	—	—
F	0,20	—	0,18	0,25	0,17	—	—	0,06	—	—
Cl	0,00	—	0,06	0,02	0,02	—	—	0,00	—	—
V ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	0,48	0,40
Сумма	100,03	100,01	99,99	100,02	99,98	99,98	100,01	100,00	100,01	99,99
f	21,6	20,9	15,4	15,4	19,8	20,0	29,5	35,3	—	—

Примечание: Флогопиты из: 1 — флогопитовых клинопироксено-пород, С-202/236, 2 — магнетит-флогопит-клинопироксено-пород, С-202/209 м.; 3 — флогопит-магнетит-клинопироксено-породы, С-204/278,4 м.; 4 — флогопитовых городы, С-3587/79 м.; 5 — пегматита магнетит-амфибол-клинопироксено-флогопитового состава, С-202/279,5 м. Пироксен: 6 — клинопироксено-С-202/294 м. Амфиболы: 7 — из флогопит-амфибол-магнетит-пиросомовой породы С-202/269 м., 8 — из магнетит-флогопит-амфиболовой породы магнетитового облика С-202/279,5 м. Магнетиты: 9 — из магнетит-флогопит-пиросомовой породы С-202/269 м., 10 — из клинопироксено-С-202/294 м.

Микроизделия определены: JXA-6. Аналитик В. А. Велесов.

Минеральный состав флогопитовых ультрамафитов ограничен флогопитом, клинопироксеном, амфиболом, магнетитом и апатитом (табл. 2).

Флогопит представлен пачками до 3×5 мм малотитанистого почти бесфтористого с низкой железистостью (15—21,6%) и резким преобла-

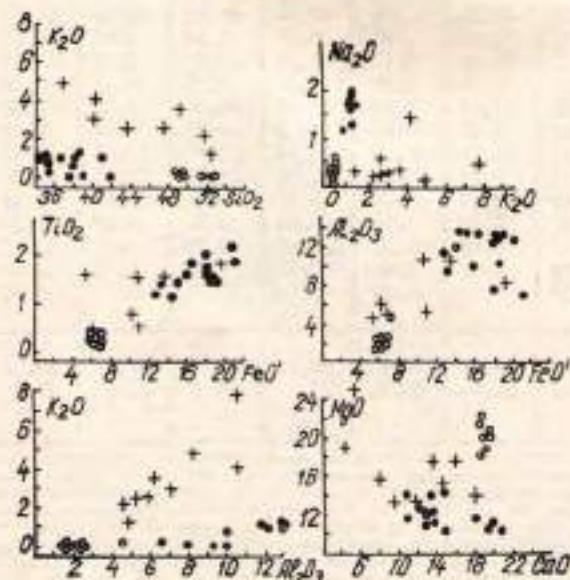


Рис. 4. Сравнительная диаграмма составов флогопитовых ультрамафитов Светлооборского массива (прямые крестики), клинопироксенитов (полые кружки) и горнбледитов (заливные кружки)

данием тетраэдрического Al над октаэдрическим (рис. 4). Кристаллохимические формулы:

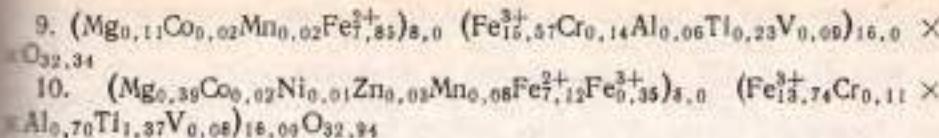
- $(K_{0.80}Na_{0.01})_{0.81}(Mg_{2.16}Mn_{0.01}Fe^{2+}_{0.59}Al_{0.21})_{2.97}[Si_{2.83}Al_{1.29}Ti_{0.08}]_{4.0} \times O_{10.83}(OH)_{0.96}F_{0.01}$
- $(K_{0.93}Na_{0.04})_{0.96}(Mg_{2.11}Fe_{0.56}Al_{0.38})_{3.00}[Si_{2.82}Al_{1.07}Ti_{0.10}]O_{11.04} \times (OH)_{1.03}$
- $(K_{0.88}Na_{0.04})_{0.92}(Mg_{2.37}Fe_{0.43}Al_{0.20})_{3.00}[Si_{2.91}Al_{1.0}Ti_{0.08}]_{3.99} \times O_{11.0}(OH)_{1.02}F_{0.04}$
- $(K_{0.84}Na_{0.02})_{0.86}(Mg_{2.27}Fe_{0.41}Al_{0.31})_{3.0}[Si_{2.85}Al_{0.96}Ti_{0.09}]_{4.0}O_{1.05} \times (OH)_{0.97}F_{0.06}$.

Клинопироксен из флогопит-клинопироксеновых пород наблюдается в индивидах до 1.5×2 мм, реже до 6×2 мм. Состав близок к составу из бесфлогопитовых разностей.

Амфибол из флогопитовых ультрамафитов, горнбледитов и флогопитсодержащих пегматитов наблюдается в зернах от 2×3 мм до 1—3 см и близок к амфиболу из бесфлогопитовых разностей, отвечающей магнезиочермакиту.

- $(K_{0.3}Na_{0.3})_{0.6}Ca_{1.93}Mg_{3.11}(Fe_{1.31}Mn_{0.01}Al_{0.54})_{1.85}[Si_{0.17}Al_{1.78} \times Cr_{0.01}Ti_{0.04}]_{8.0}O_{22.07}(OH)_2$
- $(K_{0.08}Na_{0.16})Ca_{1.89}(Mg_{2.8}Mn_{0.02}Fe^{2+}_{0.18})_{3.0}(Fe^{3+}_{1.35}Al_{0.03})(Si_{0.26}Al_{1.09} \times Ti_{0.16}O_{22.7}(OH)_{1.92}F_{0.03})$

Магнетит образует компактные, ксеноморфные к пироксену зерна от 0,6 мм или мелкие изометрические включения до 0.01×0.02 мм во флогопите. Относится к малотитанистым малохромистым и низкоглиноzemистым разностям. Кристаллохимические формулы:



О генезисе флогопитовых ультрамафитов

Принципиальное значение имеет прежде всего генезис флогопитовых клинопироксенитов, так как все горнбледиты Платиноносного пояса — первичные апопироксеновые породы, формировавшиеся при воздействии на клинопироксениты флюидов, связанных с габбровыми интрузиями [8, 9, 10]. Между бесфлогопитовыми и флогопитовыми клинопироксенитами не существует каких-либо четких взаимоотношений, позволяющих судить о их относительном возрасте. Постепенное появление флогопита и изменение его положение относительно клинопироксена как будто позволяет сделать вывод о близодновременном образовании обоих типов пород. В то же время ряд данных свидетельствует о несколько более позднем образовании флогопитовых разностей. Так, наблюдаются признаки замещения пироксена флогопитом с появлением каймы бурового амфибола. Во-вторых, в магнетит-флогопит-пироксеновых породах отсутствует плеонаст — характерный аксессорный минерал бесфлогопитовых магнетитовых клинопироксенитов, что можно объяснить его замещением флогопитом. В то же время очевидно, что если и существовал временной разрыв между образованием обоих пироксенитов, то этот интервал был весьма незначителен. Отсюда вытекает две возможности образования флогопитовых клинопироксенитов — синхронно с клинопироксенитовой оболочкой или близодновременно с горнбледитами.

В пользу генетической связи флогопитовых клинопироксенитов с клинопироксенитовой оболочкой свидетельствуют: 1) обычное присутствие аксессорного флогопита в оливиновых и мономинеральных клинопироксенитах оболочки КЗУМ [6], 2) признаки близодновременного образования бесфлогопитовых и флогопитовых клинопироксенитов, 3) признаки флогопитизации клинопироксенитов с уничтожением плео-

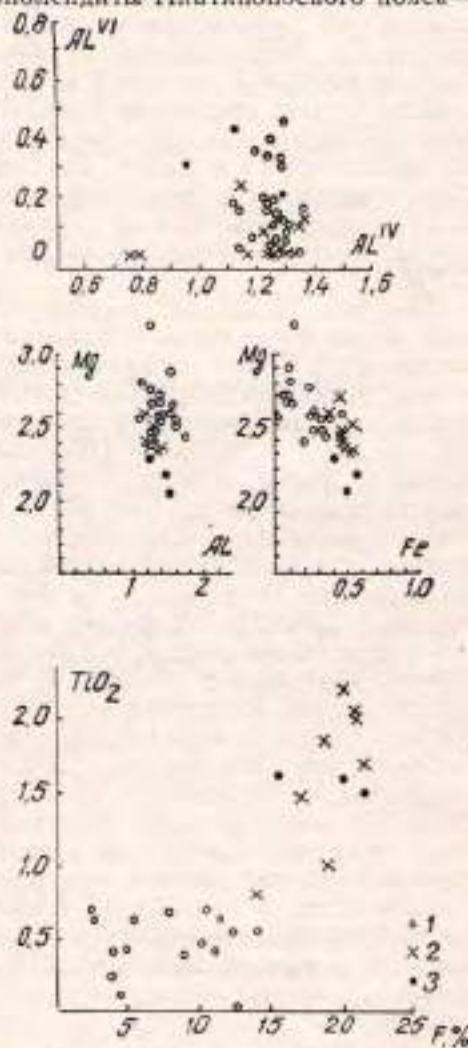


Рис. 5. Составы флогопита из магнезиальных скарнов (1), щелочно-ультраосновных комплексов платформ (2) и флогопитовых ультрамафитов Светлоборского массива (3). Данные 1 и 2 из работы Е. Н. Ушаковой [16]

части идентичной с таковым же процессом при постмагматической флогопитизации магнезиальных скарнов из контактах гранитоидов с доломитами [1, 18, 19], 4) разные тренды направленности процесса и отсутствие четкой связи с гориблендитами (рис. 4), 5) широкое присутствие флогопита в пироксенитовых дайках среди дунитов Светлоборского массива.

В пользу тесной связи флогопитовых клинопироксенитов с процессом гориблендитизации могут служить признаки более позднего образования флогопита и его тесный парагенезис с амфиболом. Возможность кристаллизации при этом клинопироксена подтверждается присутствием равновесных амфибол-пироксеновых пород в том же Светлоборском массиве [7]. Исходя из этого, можно было предполагать, что более высокотемпературный калиевый метасоматоз предшествовал гориблендитизации. Однако против этого свидетельствует, во-вторых, редкость развития флогопита при гориблендитизации, несмотря на широкое развитие гориблендитов в КЗУМ, во-вторых, совершенно различные тренды обоих процессов (см. рис. 5). В целом сумма признаков свидетельствует, по нашему мнению, в пользу генетической связи флогопитовых клинопироксенитов с формированием клинопироксенитовой оболочки КЗУМ.

При этом возникает естественный вопрос о причинах появления воды, калия и глинозема — главных компонентов флогопитовых клинопироксенитов. Одной из причин могли быть флюиды, связанные с собственно дунитовой интрузией. Дуниты Платиноносного пояса содержат, правда, в незначительных количествах, щелочи и глинозем. Так, в оливиниках некоторых массивов (Иовское тело) установлены, судя по пластинчатой форме и цвету, субмикроскопические продукты распада, представленные флогопитом [8, 9, 10, 20]. Во-вторых, флогопит установлен в значительных количествах в камерных пегматитах Уктусского массива, где он образует индивиды до 5 см, замещенные пенином и вермикулитом. В-третьих, в дунитах ряда массивов, особенно Нижнетагильского, установлены фуксит и флогопит, образующие поздние оливин-флогопитовые жилки в дуните и интерстициальные выделения в флогопитсодержащих дунитах [8, 9, 10]. Таким образом, этот вариант представляется достаточно обоснованным, хотя количество K_2O и Al_2O_3 , в дунитах пока не может быть точно оценено. Не исключено, что значительная часть этих компонентов была вынесена и участвовала в формировании клинопироксенитовой оболочки. Второй, менее вероятной причиной, могли служить попавшие в зону формирования пироксенитовой оболочки экзотические щелочьсодержащие высокоглиноземистые породы, например риолиты или пелиты, присутствующие в полосе верхнеордовикских и нижнесилурских отложений. При этом подвижные компоненты диффундировали вдоль кровли массива и с понижением температуры вызывали постмагматическую флогопитизацию клинопироксенитов.

Сравнение флогопитовых ультрамафитов КЗУМ с аналогичными образованиями других генетических типов

Флогопитовые ультрамафиты являются типичными лородами трех формаций — расслоенных интрузий, щелочно-ультраосновных комплексов платформ и магнезиальных скарнов.

В расслоенных интрузиях они представлены флогопитовыми дунитами и флогопитовыми гарцбургитами с лойкилитовой структурой, являются типичными ортомагматическими образованиями, впервые описанными как сциелит в базальтоидных ультрамафитах Гарца (Розенбуш, 1933), затем в Сарановской расслоенной интрузии [6, 8, 9, 10]. Ни фло-

толитовых пироксенитов, ни флогопитовых горнбледитов не установлено.

В щелочно-ультраосновных комплексах платформ (Алданский щит, Маймече-Котуйская провинция, Кольский п-ов) флогопитовые клинопироксениты, флогопит-пироксен-оливиновые породы и флогопит-магнетитовые породы развиты на контакте оливинитов с поздними щелочными интрузиями, хотя часть флогопита является результатом автометасоматических процессов [3, 14]. Характерно присутствие тетраферрифлогопита с повышенным содержанием фтора (до 1,2 %) и акцессорных перовскита и высокотитанистого титаномагнетита (см. рис. 5).

В магнезиальных скарнах на контакте гранитоидов с доломитами флогопит-пироксеновые и флогопит-магнетит-пироксеновые породы обычны в зонах постмагматической перекристаллизации по пироксеновым и магнетит-пироксеновым породам. Характерна пониженная железистость, низкая титанистость и высокое (более 1,5 %) содержание F.

Сравнение известных типов флогопитовых ультрамафитов с ультрамафитами, установленными в Светлоборском массиве, показывает, что наиболее близки к нашим флогопитовые пироксениты из магнезиальных скарнов. Отличие в составе флогопита и магнетита обусловлено разным составом субстрата и интрузивных пород.

Условия формирования флогопитовых ультрамафитов

Формирование флогопитовых клинопироксенитов близодновременно с магнетитовыми предполагает и близкие условия формирования. Парагенезис диопсид + флогопит кристаллизуется при 600—650 °C [4]. Однако по экспериментам Г. П. Зарайского и др. [5] образование флогопита и шпинели магнезиальных скарнов происходит при 800 °C и давлении 500 МПа. Однако в природных магнезиальных скарнах и в клинопироксенитовой оболочке КЗУМ флогопит образуется явно позже плеонаста, т. е. при более низких температурах порядка 700—800 °C и ниже. Гипабиссальные условия формирования КЗУМ указывают на вероятные глубины в 3 км. Химизм процесса достаточно очевиден и происходит при привносе глиноэзма, калия и воды с низким содержанием фтора во флюиде [7]. Калий-argonовое отношение показало, что возраст флогопитов из флогопит-пироксеновых и флогопит-амфиболовых пород составляет 426—432 млн. лет, что отвечает геологическим данным о возрасте КЗУМ [13].

Заключение

Хотя формально открытие флогопитовых ультрамафитов еще более сближает КЗУМ со щелочно-ультраосновными интрузиями платформ, тем не менее в КЗУМ они формировались не в результате воздействия более поздних щелочных интрузий, а в результате постмагматических процессов в пироксенитовой оболочке, т. е. имеют совсем другую природу и не могут использоваться в целях идентификации с щелочно-ультраосновными массивами. В то же время это еще больше сближает клинопироксениты КЗУМ с магнезиальными аподоломитовыми скарнами магматической стадии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров С. М. Геохимия скарнов и рудообразования в доломитах.— М.: Наука, 1992.—343 с.
2. Высоцкий И. К. Месторождения платины Исовского и Нижне-Тагильского районов из Урала // Тр. Геол. Ком., нов. сер.—1913. Вып. 62.—694 с.

3. Егоров Л. С., Гольдберг Т. Л., Шихарина К. М. Геология и петрография магматических пород Гулинской интрузии // Тр. НИИГА.—1961.—Т. 122.—272 с.
4. Жариков В. А. Скарновые месторождения // Генезис экзогенных рудных месторождений.—М.: Недра, 1968.—С. 220—302.
5. Зарайский Г. П., Жариков В. А., Стояновская Ф. М., Балашов В. И. Экспериментальные исследования биметасоматического скарнообразования.—М.: Наука, 1986.—231 с.
6. Иванов О. К. Флогопитовые гипербазиты Сарапского массива (Средний Урал) // Тр. Свердловского горного ин-та.—Свердловск, 1976. Вып. 124.—С. 91—96.
7. Иванов О. К. Новый тип апатитового оруденения в концентрически-зональных ультрамафических массивах Урала // Мат-лы к минералогии рудных районов Урала.—Свердловск: УрО АН СССР, 1988.—С. 106—111.
8. Иванов О. К. Концентрически-зональные ультрамафические массивы складчатых областей (на примере Урала): Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук.—Л.: ЛГИ, 1990.—44 с.
9. Иванов О. К. Критерии различия мантийных и коровых ультрамафитов // Геодинамические условия формирования, геохимические аспекты генезиса базитов и гипербазитов.—Иркутск, 1990.—С. 70—74.
10. Иванов О. К. Расслоенные хромитоносные ультрамафиты Урала.—М.: Наука, 1990.—243 с.
11. Иванов О. К. Новые генетические типы магнезиальных скарнов магматической стадии в связи с ультрамафитами // Современные проблемы минералогии и сопредельных наук.—СПб, 1992.—С. 132—144.
12. Иванов О. К., Зверская С. А. Новые данные о структуре Качканарско-Гусевогорского габбро-пироксенитового plutona (Урал) // ДАН СССР.—1990.—Т. 313, № 4.—С. 931—935.
13. Иванов О. К., Калеганов Б. А. Калий-argonовый возраст флогопитовых клинопироксенитов Светлоборского массива // Ежегодник.—Свердловск, 1991. ИГИГ УроАН.—Екатеринбург, 1992.—С. 61—62.
14. Кухаренко А. А., Орасова М. П., Булах А. Г. и др. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии.—М.: Недра, 1965.—771 с.
15. Решитко В. А. Геологическое строение Качканарского габбро-перidotитового массива на Среднем Урале // Мат-лы первой научной конф. аспирантов.—Ростов: Ростовский ун-т, 1959.—С. 53—61.
16. Ушакова Е. Н. Биотиты метаморфических пород.—М.: Наука, 1971.—344 с.
17. Фоминых В. Г., Н. В. Ларина, Л. К. Воронина. Сульфидная минерализация в Кучумском титаномагнетитовом рудопроявлении на Среднем Урале // Ежегодник—1988 ИГиГ УНЦ.—Свердловск, 1989.—С. 73—75.
18. Шаблинин Л. И. Формация магнезиальных скарнов.—М.: Наука, 1973.—214 с.
19. Шаблинин Л. И., Лицарев М. А., Перцев Н. Н., Шмакин Б. М. Шлиреневые пироксеновые породы как метасоматические образования // Физико-химические проблемы формирования горных пород и руд.—М.: АН СССР, 1961.—С. 440—483.
20. Ярош П. Я. О первоисточнике хрома в дунитах и природе акцессорного хромита // ЗВМО.—1980.—№ 1.—С. 98—105.

УДК 553.491+470.5

И. А. Малахов, И. В. Савохин, Г. А. Сычева

О ГЕНЕЗИСЕ ПЛАТИНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЗОНАЛЬНЫХ МАССИВАХ ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА (На примере Нижне-Тагильского массива)

Собранный и проанализированный нами обширный фактический материал по геологии Нижне-Тагильского массива, петрографии и геохимии слагающих его ультраосновных пород, ассоциирующих с ними хромитов и приуроченного к ним платинового оруденения позволяет во многом по-новому трактовать вопросы их формирования и происхождения. Вопросы детального изучения и оценки перспектив его рудоносности приобретают особое значение в связи с тем, что Нижне-Тагильский и другие зональные пироксенит-дунитовые массивы Платиноносного пояса являются типоморфными на хромитовый тип металлов платиновой группы (МПГ), среди которых резко преобладает самородная пластина, а также иридий.

Данные исследований А. Н. Заварцкого [3], А. Г. Бетехтина [1], С. А. Кашина [5], Л. В. Разина [11, 12] свидетельствуют, что повышенные концентрации платины и ее спутников, в первую очередь иридия, тесно связаны с хромшпинелидами. Поэтому, рассматривая вопрос о месторождениях платины в Нижне-Тагильском и подобном ему массивах, все исследователи акцентируют внимание на выделении среди дунитов хромитовых шлиров, жил и крупных сегрегационных обособлений. Об этом же свидетельствуют обнаружение и разработка с целью получения платины целого ряда коренных месторождений платины в центральной части Нижне-Тагильского массива, в районе г. Соловьевской, включая и наиболее крупное трубообразное тело платиноносных хромитов (Госшахта).

К концу 30-х годов текущего столетия в связи с резким уменьшением числа легко открываемых коренных месторождений платины хромитового типа в пределах Нижне-Тагильского массива интерес к проблеме коренной платины на Урале упал и ее добыча здесь практически прекратилась. Как свидетельствуют результаты исследований, проведенных целым рядом ученых за последние несколько десятилетий, платиноносными являются не только хромиты, но и вмещающие их дуниты. Правда, содержание в них платины и других металлов платиновой группы, по крайней мере, на два порядка ниже, чем в хромитах. Таким образом, платиноносность отдельных участков и зон в пределах дунитовой части массива площадью более 25 кв. км находится в прямой зависимости от количества содержащихся в них хромитовых шлиров и обособлений и, как было установлено ранее проведенными исследованиями, выше всего в центральной части, в пределах г. Соловьевской.

В последние годы в пределах массива в значительных объемах добываются дуниты, используемые для производства форстеритового кирпича, в связи с чем весьма актуальной проблемой является комплексная их переработка, с попутным извлечением МПГ в процессе их переработки.

Таким образом, к числу первоочередных задач относятся вопросы выделения среди дунитов Нижне-Тагильского массива участков и зон, наиболее насыщенных хромитовыми телами, связь их с определенными системами трещин и тектонических нарушений, оценка условий формирования и влияния вторичных процессов метаморфизма на состав и масштабы платинового оруднения.

Геологическое положение и строение Нижне-Тагильского зонального пироксенит-дунитового массива детально рассмотрено в нашей монографии [10]. Расчленение дунитов по крупности с выделением криптозернистых, мелкозернистых, среднезернистых и крупнозернистых фаций было выполнено О. К. Ивановым [4]. Необходимо еще отметить, что как в западной части массива, так и в северной хромитовые шлиры и сегрегации практически отсутствуют, а подавляющее их большинство располагается в центральной части массива, в пределах участка горы Соловьевой.

Тектоника и геолого-структурное положение платинового оруднения

Поскольку платиновое оруднение связано в первую очередь с хромитами, первостепенное значение приобретает вопрос относительно их концентрации и структурного положения, включая связь с определенными направлениями трещин. Максимальная насыщенность хромитовыми шлирами и жилами района г. Соловьевской, находящегося в центральной и наиболее широкой части Нижне-Тагильского массива и практически полное их отсутствие в северной части массива, несомненно определяется различной степенью последующих тектонических дефор-

маций дунитов после их внедрения в вулканогенно-осадочную толщу в западную краевую зону Тагильского погружения.

В соответствии с выполненными нами ранее массовыми замерами трещиноватости в северной и западной частях Нижне-Тагильского массива [10] здесь преобладают трещины северо-восточного простирания и крутого западного падения. Замеры же сланцеватости и кливажа в этих дунитах, непосредственно связанные с тектоническим сжатием массива после его становления, свидетельствуют о явном преобладании среди них субмеридиональных направлений с относительно пологим ($30-50^\circ$) западным или восточным падением.

Выполненные нами специально многочисленные (более 450) замеры трещин отдельности в наиболее хромитоносных дунитах горы Соловьевой показали явное преобладание среди них относительно пологих ($40-45^\circ$) трещин субмеридионального ($CB \delta^\circ$) или северо-восточного направления или же практически вертикальных явно северо-западного (300°) направления. В меньшей степени распространены пологопадающие трещины северо-западного простирания, близкого к меридиональному, и вертикальные северо-западного направления (310°). Замеры элементов рассланцевания в дунитах в этом районе показали явное преобладание очень пологих ($10-20^\circ$) субмеридиональных направлений, а также северо-западных направлений с почти вертикальным падением.

В связи с тем, что большое количество хромитовых шлиров и жил в настоящее время уже выработано, судить об истинном их простирании можно по их удлинению и замерам контактов. Как свидетельствуют выполненные замеры, большая их часть характеризуется субширотным простиранием. Широко развиты также северо-западные и северо-восточные их простирания при повсеместном относительно крутом падении (свыше 60°).

Интересно отметить, что два рудопроявления хромитов с относительно богатым платиновым оруднением обладают также северо-западным простиранием — около 330° , однако это направление не совпадает с отмеченным направлением подавляющего большинства хромитовых шлиров и жил, генетически связанных с трещинами, опирающимися на основной разлом северо-западного простирания, в окаймлении которого располагается большая группа наиболее крупных горных выработок — наклонных и вертикальных шахт с квершлагами и рассечками.

Состав МПГ и главных петрогенных минералов рудоносных дунитов и хромититов

Выполненное нами опробование средне- и крупнозернистых околоврудных дунитов и хромитовых шлиров в районе г. Соловьевой позволило установить широкие пределы колебаний содержаний металлов платиновой группы в проанализированных пробах. Поскольку, как уже отмечалось, содержание МПГ в хромитах значительно выше, чем в дунитах, для повышения точности определения анализировался обогащенный тяжелой фракцией материал черных шликов, представленный в основном хромшипинелидами. Результаты анализов представлены в табл. 1, а содержания МПГ в исходных дунитах и хромитах, с учетом количества хромита в них, приводятся в табл. 2.

Как следует из приведенных данных, подтверждается общая зависимость увеличения содержания платины и платиноидов от количества содержащегося в породах и рудах хромшипинелидов, однако массивные руды, слагающиеся существенно магнезиальным хромитом, содержат их явно меньше, чем густо- и даже среднекрапленные руды. Интересно также отметить, что металлы платиновой группы обладают различной

зодвижностью: в дунитах, где отмечается минимальное содержание МПГ, отношение платины к осмии обычно колеблется от 45 до 165. Столь же низкое это отношение отмечается в хромититах (проба № 16). В бедно- и средневкрашенных рудах оно значительно выше и достигает многих сотен и даже четырех-пяти тысяч.

Соотношение платины с другими платиноидами не дает столь четкую картину, что объясняется присутствием помимо свободной платины,

Таблица 1

Содержание МПГ в хромшпинелидах из дунитов и хромитов Нижне-Тагильского массива (усл. ед.)

Номер пробы	Название	Содержание МПГ					
		Pt	Os	Ir	Pd	Ru	Rh
1	Дунит	4,1	0,065	0,24		0,02	
2	Дунит	3,15	0,07	0,39		0,02	
3	Дунит	48,8	0,04	2,35		0,10	0,8
4	Дунит	8,2	0,06	3,25	0,15		
5	Дунит	9,05	0,065	0,20		0,11	
6	Бедновкраплен. руда в дунитах	100,95	0,14	25,6	0,9	0,12	0,85
7	»	71,7	0,16	7,25		0,56	1,65
8	»	6,9	0,14	0,7		0,15	
9	»	4,35	0,09	0,8	1,95	0,16	0,75
10	»	6,15	0,10	0,5		0,29	
11	»	15,5	0,07	0,75		0,10	0,75
12	Средневкрапл. руда в дунитах	34,25	0,08	1,05	0,15	0,05	0,8
13	»	539,5	0,10	6,1	4,25	0,455	5,45
14	»	341	0,07	17,5	1,35	0,055	2,55
15	Густовкрапл. руда в дунитах	64	0,10	4,6	0,25	0,03	0,4
16	Массивный хромит	2,55	0,05	0,1	0,15	0,11	0,65

в виде изоферроплатины, лишь самородного осмистого иридия. Для всей хромититовой ассоциации в дунитах Нижне-Тагильского массива очень характерно низкое содержание палладия, которое обычно в 100—200 раз ниже содержаний платины. Лишь в одной из бедновкрапленных хромитовых руд оно оказалось повышенным (проба 28). Количество палладия существенно увеличивается и в хромитовых жилах, для которых характерно также повышенное количество родия (табл. 3).

В целом доля платины во всех проанализированных нами пробах и с учетом ранее полученных данных обычно составляет 70—95 % от суммарного содержания МПГ и лишь в одном случае опускается до 54 %.

К числу весьма важных общих закономерностей относится различная крупность индивидов оливина и дунитов массива: в северной и западной частях Нижне-Тагильского массива резко преобладают крупнозернистые и мелкозернистые фации дунитов, в пределах же центральной части массива, на участке горы Соловьевой, широко распространены средне- и крупнозернистые дуниты. Характерно, что крупность зерен относится не только к оливину, но и к сопутствующему ему хромшпинелиду. Однако наиболее крупнозернистые и пегматоидные дуниты обычно содержат пониженное количество хромитовых индивидов, расположенных очень неравномерно.

Таким образом, рассматривая проблему генезиса в массиве платинового оруденения, необходимо непременно иметь информацию о составе главных рудогенерирующих и петрогенерирующих минералов — хромшпинелидов и оливинов.

Как было показано Т. Н. Ирвайном [16], хромшпинелиды, обладающие малой термодинамической прочностью и весьма сложным соста-

Таблица 2
Расчетное содержание МПГ в дунитах и различных типах руд
Нижне-Тагильского массива (усл. ед.)

Номер проб н/п	Название	% хром- шпинели- ды	Содержание МПГ в исходной породе или руде					
			Pt	Os	Ir	Pd	Ru	Rh
1	Дунит	1,5	0,06	0,001	0,004		0,0003	
2	"	2,4	0,08	0,002	0,01		0,0006	
3	"	2,3	1,12	0,001	0,054		0,0022	0,018
4	"	0,7	0,06	0,0004	0,023		0,001	
5	"	1,2	0,11	0,0007	0,003		0,0013	
6	Бедловскр. руда в дунитах	8,9	8,98	0,012	2,28	0,08	0,011	0,076
7	"	12,96	9,29	0,021	0,939		0,073	0,214
8	"	11,4	0,79	0,016	0,08		0,017	
9	"	17,2	0,75	0,015	0,138	0,336	0,028	0,129
10	"	5,6	0,35	0,006	0,028		0,016	
11	"	7,8	1,21	0,005	0,059		0,008	0,059
12	Средневскр. руда в дунитах	40,9	14,0	0,033	0,43	0,06	0,018	0,327
13	"	35,1	189,1	0,033	2,14	1,49	0,16	1,913
14	"	20,8	70,93	0,015	3,64	0,28	0,011	0,53
15	Густохскр. руда в дунитах	70,3	45,0	0,074	3,234	0,176	0,021	0,281
16	Массивный хро- мит	100	2,55	0,05	0,106	0,15	0,105	0,65

вом, могут использоваться в качестве надежного индикатора условий формирования пород и руд и связанного с ними платинового оруденения, имеющего явно эпигенетический характер [1]. Детальное изучение

Таблица 3
Соотношение МПГ в проанализированных пробах хромшпинелидов из пород и руд
Нижне-Тагильского массива

Номер проб	Соотношение МПГ				
	Pt/Os	Pt/Ir	Pt/Pd	Pt/Rh	Ir/Os
5	63,1	17,4			3,6
11	45,0	8,1			5,6
33	1220	20,8			58,7
60	164	2,5			65,0
84	164,5	45,2			3,6
22	721,1	3,9	112,2	118,8	182,8
23	434,5	9,9		43,5	43,9
25	47,1	9,4			5,0
28	51,2	5,4	2,2	5,8	9,4
32	61,5	12,3			5,0
53—1	221,4	26,7			10,7
80	428,1	32,6	228,3	42,8	13,1
82	5663	88,4	126,9	99,0	64,2
83	4871	19,5	252,6	133,7	250,0
36	609,5	13,9	256	160	43,8
30	51,0	24,3	17,0	3,9	2,1

состава хромшпинелидов, встречающихся в качестве акцессорного минерала в дунитах и слагающих многочисленные шлиры и жилы, представляет большой интерес и с точки зрения выявления зависимости

между их составом и содержанием МПГ, а также оценка оптимальной температуры формирования зональных массивов. Выполненное нами ранее обобщение составов акцессорных и рудообразующих хромшипинелидов этого массива [10] показало, что состав последних характеризуется повышенной магнезиальностью, что связано с процессами последующего высокотемпературного метаморфизма, сопровождавшегося перераспределением магния и железа между существующими оливином и хромитом и повлиявшего на химизм акцессорных хромшипинелидов [8].

В табл. 4 приводится серия новых анализов хромшипинелидов из дунитов и вкрапленных и массивных руд, обогащенных МПГ, полученных с помощью рентгеновского микроспектрального анализатора. Здесь же приводятся пять новых силикатных анализов хромшипинелидов из вкрапленных и массивных руд, свидетельствующих о большом сходстве с составами из тех же проб, полученных с помощью микрозонда.

Как следует из приведенных величин расчетных параметров составов проанализированных хромшипинелидов, отмечается широкое колебание их железистости — от 41 до 56 %. Интересно отметить, что более железистый состав фиксируется в хромитах из бедновкрапленных руд, а также для более мелкозернистых типов руд, в то время как микрозондовые определения свидетельствуют о явно более магнезиальном составе густовкрапленных и массивных хромитов, не претерпевших сколько-нибудь значительный высокотемпературный метаморфизм. Таким образом, хромшипинелиды с железистостью менее 40 % можно рассматривать как первичные, не сопровождавшиеся последующими изменениями. По этому параметру они вполне аналогичны хромитам из неметаморфизованных руд многих хромитоносных массивов Урала и других регионов. Повышение железистости при подобном метаморфизме хромитов, как правило, сопровождается увеличением содержания окисного железа в их составе, максимально достигающего 15—16 %.

Из представленных в табл. 4 результатов силикатных и микрозондовых анализов хромшипинелидов выявляется еще одна закономерность в их составе — повышение содержания оксида железа обычно сопровождается соответствующим уменьшением количества оксида хрома при стабильном содержании в них глинозема. Таким образом, повышение содержания нормативного магнетита сопровождается понижением количества магнохромитовой составляющей при постоянстве шпинелевого и хромитового минералов.

Результаты 33 определений состава зерен оливина из тех же проб обычных дунитов и из бедно- и средневкрапленных руд свидетельствуют о типичном для дунитов массива составе — чаще всего они содержат от 8 до 9,5 % нормативного фаялита. Вариации их состава по отдельным пробам приводятся в табл. 5. Вполне надежно судить о составе оливина можно и по их показателям предломления — на основе использования теодолитно-иммерсионного метода В. Г. Фекличева на приборе ППМ-1. Данные 78 замеров состава оливинов из тех же проб свидетельствуют о систематически получаемой расчетной более низкой железистости, которая меньше полученной с помощью микрозонда на величину от половины до двух процентов. Эти расхождения определяются прежде всего тем, что микрозондовые определения состава относятся к центральным частям зерен оливина, а оптические производились для краевых частей. Из сопоставления приведенных данных следует, что во всех случаях, без исключения, мы фиксируем зональное строение с образованием в периферических зонах оливиновых индивидов кайм более магнезиального состава.

Подобная закономерность, когда зональное строение хромитов определяется присутствием в периферических частях зерен более железистого состава, а в оливинах, наоборот, более магнезиального, харак-

Таблица 4
Состав хромитинсилов из хромитовых руд Нижне-Тагильского месторождения по данным микрозондового и спектрального анализа

Состав	6	11	22	23	35	28/1	28/2*	30/1	30/2*	32	33/1	33/2
TiO ₂	0,54	0,55	0,43	0,49	0,51	0,37	0,48	0,35	0,36	0,49	0,51	0,34
Al ₂ O ₃	8,93	8,70	7,15	7,58	7,83	8,45	8,76	8,82	8,97	8,20	7,73	7,50
Cr ₂ O ₃	48,44	50,03	51,03	49,83	49,79	52,67	51,54	56,14	54,96	48,25	49,89	52,81
Fe ₂ O ₃	12,55	12,28	14,77	14,13	15,11	11,50	10,92	7,84	7,90	14,85	12,58	12,58
FeO	19,21	19,58	18,86	16,02	16,42	19,44	17,41	15,76	15,83	20,07	16,60	18,29
MnO	0,55	0,46	0,54	0,48	0,46	0,57	0,31	0,39	0,29	0,50	0,49	0,60
MgO	9,00	9,12	9,64	11,00	11,15	9,35	10,43	11,65	11,42	8,73	10,38	9,89
Сумма	99,22	100,72	102,42	99,53	101,27	102,35	99,85	100,65	99,73	101,69	98,18	102,01

Главные растворимые минеральные группировки												
Ульвощинель	1,4	1,4	1,1	1,2	1,3	0,9	1,2	0,9	0,9	1,2	1,3	0,9
Шпинель	17,8	17,1	13,9	15,0	15,2	16,4	17,2	17,0	17,5	16,2	15,5	14,6
Магнокорунд	27,6	28,3	30,5	40,0	39,5	29,5	34,6	39,8	38,8	27,4	37,1	34,1
Хроунит	37,2	37,8	33,1	26,0	26,3	35,0	33,3	32,7	33,0	36,5	29,9	34,9
Магнетит	16,0	15,5	18,4	17,8	18,7	14,2	13,7	9,7	9,8	18,7	16,1	15,6

Основные расчетные параметры												
$I = \frac{100 \cdot \text{FeO}}{\text{MnO} + \text{FeO}}$	54,5	54,6	52,3	45,0	45,2	53,8	48,4	43,1	43,8	56,3	47,3	50,9
$Y = \frac{100 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3}$	78,4	79,4	82,7	81,5	81,0	80,7	79,8	81,0	80,4	79,8	81,2	80,5
$Z = \frac{100 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$	16,2	15,7	18,6	18,0	19,0	14,4	13,9	9,7	9,9	18,9	16,3	15,8
Темп. t °C по Фабра	925	925	990	1085	1050	1000	1040	1115	1155	910	—	—
Темп. t °C по пакетке	1005	1105	1080	1100	1090	1020	1070	1135	1125	1000	1200	1185
Средн. t °C	965	1015	1035	1090	1070	1020	1070	1135	1125	955	1200	1185

Продолжение таблицы 4

Состав	36/1	36/2*	50	63—1	63—2/1	63—2,2	63—2/3*	80/1	80/2*	82	83	84
TiO ₂	0,40	0,38	0,41	0,43	0,60	0,47	0,55	0,47	0,40	0,36	0,48	0,60
Al ₂ O ₃	7,74	8,62	9,88	7,39	6,79	6,38	8,10	10,47	8,71	12,39	8,18	9,46
Cr ₂ O ₃	53,38	55,47	51,36	51,39	47,36	49,26	47,58	49,89	53,02	50,27	49,06	47,83
Fe ₂ O ₃	10,96	8,11	10,40	13,64	15,60	16,48	14,66	11,63	9,75	9,30	14,25	11,96
FeO	13,53	14,78	19,00	19,25	18,06	18,85	19,87	14,12	16,68	16,68	17,57	19,41
MnO	0,39	0,24	0,47	0,46	0,47	0,60	0,38	0,39	0,28	0,36	0,43	0,55
MgO	12,55	12,12	9,63	9,36	9,39	9,30	8,71	12,64	10,86	11,38	10,22	8,84
Сумма	98,90	99,72	101,15	101,92	98,27	101,34	99,85	99,61	99,71	101,74	100,18	98,67
<i>Групповые расчетные минеральные группировки</i>												
Ульвингит-шл.	1,0	1,0	1,0	1,1	1,6	1,2	1,4	1,2	1,0	0,9	1,2	1,5
Шпинель	15,2	16,7	19,2	14,5	13,8	12,6	16,2	20,1	17,1	23,6	16,1	18,9
Магногематит	47,1	42,8	28,1	31,9	34,4	33,9	27,8	41,4	36,8	31,2	34,8	25,8
Хромит	23,9	29,4	38,8	35,6	30,0	31,5	35,9	23,0	32,9	33,0	30,0	38,4
Магнетит	12,9	10,1	12,9	17,0	20,2	20,8	18,7	14,3	12,2	11,3	17,9	15,3
<i>Основные расчетные параметры</i>												
$f = \frac{100 \cdot \text{FeO}}{\text{MgO} + \text{FeO}}$	37,6	40,6	52,5	53,6	51,9	53,2	56,3	38,5	46,3	45,1	49,1	55,2
$Y = \frac{100 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3}$	82,4	81,2	77,7	82,3	82,4	83,6	79,8	76,2	80,3	73,1	80,1	77,2
$Z = \frac{100 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3}$	13,0	10,2	13,0	17,2	20,5	21,1	19,0	14,5	12,3	11,4	18,1	15,5
Тепл. $t^{\circ}\text{C}$ по Фабри	1200	1165	—	960	990	975	930	—	970	1015	1010	—
Тепл. $t^{\circ}\text{C}$ по Шелдже	1200	1185	1140	1160	1175	1185	1220	1106	1150	1190	1100	—
Средн. $t^{\circ}\text{C}$	1200	1175	1140	1060	1080	1075	1060	1040	1080	1095	1100	—

* По данным сплавового анализа (Полесская лаборатория Уральской геологии). Остальные по данным минералов (Институт геол. и геофиз. ЗРо АН СССР, оператор В. А. Шелдже). В головной таблице даны however проп.

Таблица 5

Состав оливинов в хромитовых рудах и экзократуальных лунатах Нижне-Таганакского массива

Номер пробы	Центры зерен			Краевые части зерен							Понижение жесткости в краевой части зерен по сравнению с центром	
	Микролитовый анализ			Оптический измерительно-геодрометрический метод								
	1	2	3	средние	1	2	3	4	5	6	7	
5	8,4	8,7	8,55	8,55	6,6	6,8	6,8	6,8	6,8	6,4	6,7	1,9
11	7,5	8,0	7,75	7,75	6,6	6,6	6,4	6,3	6,3	6,5	6,5	1,3
22	9,2	9,3	9,2	9,2	7,0	7,4	7,4	7,5	7,5	7,2	7,3	1,9
23	6,8	8,9	7,85	7,85	7,2	7,2	7,4	7,5	7,5	7,2	7,3	0,6
25	8,9	9,1	9,0	9,0	7,2	7,0	7,5	6,8	6,8	7,1	7,1	1,9
28	9,3	9,3	9,3	9,3	7,5	7,5	7,9	7,7	7,5	7,5	7,6	1,7
32	8,6	8,7	8,65	8,65	7,0	7,2	7,2	7,0	7,0	7,0	7,1	1,6
36	7,6	7,5	7,55	7,55	6,8	7,0	7,2	7,0	6,8	6,8	6,9	0,7
40	8,5	8,2	8,35	8,35	6,8	6,8	7,0	7,0	7,0	6,8	6,9	1,5
53-1	9,0	9,0	9,0	9,0	6,8	7,0	6,6	6,6	6,6	6,6	6,8	2,2
53-2	8,5	9,9	8,5	9,0	7,9	7,4	7,5	7,4	7,4	7,2	7,5	1,5
60	7,6	7,7	7,65	7,65	6,8	6,6	6,6	7,2	6,8	6,8	6,8	0,9
67	7,6	7,5	7,55	7,55	6,8	6,8	7,2	6,8	7,0	7,0	7,0	0,6
62	7,3	7,3	7,3	7,3	6,6	6,6	6,6	6,4	6,4	6,6	6,6	0,7
63	7,8	7,8	7,8	7,8	7,4	7,5	7,0	7,4	7,4	7,4	7,4	0,4

терна для наложенных метаморфических процессов. Поскольку подобный процесс, связанный с понижением температуры и повышением фугитивности кислорода, очень характерен для вкрапленных руд, несущих платиновое оруденение, и пространственно часто совпадает с образованием участков и зон крупнозернистых дунитов, широко распространенных в центральной части Нижне-Тагильского массива, есть все основания рассматривать формирование наложенного платинового оруденения как процесс, сопровождающийся метаморфическими преобразованиями оливин-хромитовых парагенезисов вмещающих их дунитов.

Связь платинового оруденения с хромитами более железистого состава, отличающимися от типично магматических — более магнезиальных и высокохромистых, характерна и для хромитов широко известного Бушвельдского комплекса, характеризующегося уникальной платиноидной рудоносностью. Среди Критической зоны этого расслоенного шлутона, сложенной габброидами и гипербазитами, в рифе UG-2, состоящем из платиноносных хромититов, их состав повсеместно весьма железистый и характеризуется минимальным содержанием магния и высоким содержанием оксида железа [6].

Оценка температуры формирования хромитов и платинового оруденения

Существует целый ряд термометров, позволяющих определять температуру кристаллизации ультраосновных пород: один из них — оливин-хромитовый, впервые предложенный Е. Д. Джексоном [2], был нами ранее использован при оценке температуры формирования ультраосновных пород и хромитовых руд, входящих в состав альпинотипных комплексов Урала [8]. Позднее Дж. Фабри [15] был предложен новый термометр для оценки температур образования гипербазитов на основе учета состава оливин-хромитовых равновесий. Однако предложенное им уравнение позволяло достаточно надежно определять лишь нижний предел температуры образования пород и руд, поскольку расчетная температура фиксировала окончание обменных реакций между оливином и хромитом. Таким образом, если относить полученные значения температур к условиям кристаллизации дунитов и хромитовых шлифов и сегрегаций, то они будут явно заниженными.

В качестве характерного примера такого несоответствия можно было бы сослаться на выполненный нами расчет температур оливин-хромитовых равновесий для включений этих минералов в алмазах из кимберлитов. Она составляет 930 °С, т. е. находится явно за пределами оптимальных температур образования алмазов в кимберлитах, определяемого Н. В. Соболевым [14] диапазоном от 1200 до 1400 °С. С учетом этих данных нами была предпринята попытка скорректировать уравнение Фабри, исходя из наиболее вероятной температуры образования подобных включений в алмазах кимберлитов в 1350 °С. В этом случае модернизированное расчетное уравнение оценки температур образования дунитов и хромитов по оливин-хромитовым равновесиям будет иметь вид:

$$T = \frac{6300 \cdot Y_{Cr} + 1343}{\ln K_p + 1,825 Y_{Cr} + 0,571} - 273,$$

где T — расчетная температура кристаллизации в градусах Цельсия, Y_{Cr} — доля хрома среди трехвалентных окислов, а величина K_p характеризует распределение железа и магния между существующими хромитом и оливином.

При этом необходимо иметь в виду, что если повышение доли хрома в хромшипелидах существенно повышает расчетную температуру оли-

ции-хромитовых равновесий и соответственно температуру кристаллизации этих равновесных минералов, то железистость шпинелей, наоборот, находится в обратной зависимости от температуры их образования. Ранее нами было также показано, что в случае резкого несоответствия масс минералов, между которыми происходили обменные реакции, сопровождающиеся перераспределением магния и железа, изменение их состава происходит неадекватно: состав минерала, которого много в породе или руде, изменяется очень слабо, а при малом содержании — весьма значительно. Характерным примером могут служить дуниты Нижне-Тагильского массива, перекристаллизация которых, сопровождающаяся образованием более низкотемпературных парагенезисов, в очень слабой степени сказывается на составе оливина (понижение железистости в среднем лишь на 1,3 % фаялитовой составляющей), в то время как железистость аксессорного и бедновкрапленного хромита с 35—40 % повышается до 50—60 %. Напротив, в густовкрапленных в массивных рудах при метаморфизме и образовании более низкотемпературных парагенезисов состав хромита остается относительно стабильным, а железистость оливина составляет лишь 3—5 % Fa. Этим обстоятельством и объясняется тот факт, что целый ряд образцов платиноносных хромитов массива, проанализированных еще в начале столетия Л. Дюпарком и другими исследователями, как следует из сводки А. Г. Бетехтина [1], обладает существенно магнезиальным составом.

Результаты подобных расчетов температур для платиноносных хромитов с вкраплением оруденением приводятся в табл. 4. Здесь же приводятся цифры по оценке температуры по специально разработанной и составленной нами палитке [9], базирующейся на данных 70 равновесных пар оливин-хромитовых и оливин-ортопироксеновых равновесий. Поскольку расчетные цифры по модернизированному термометру Фабре были получены с учетом состава краевых зон оливина, их следует рассматривать как нижний температурный предел кристаллизации вкрапленных хромитов. Она колеблется обычно от 925 до 1100 °С. Если учесть, что среди хромшипелидов вкрапленных руд совершенно отсутствуют зональные индивиды, столь характерные для оливин-антигоритовых парагенезисов в альпинотипных гипербазитах Урала, характеризующихся температурой образования 450—500 °С и обычно принадлежащих к эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма [7], то можно считать, что эпигенетическое платиновое оруденение в хромититах Нижне-Тагильского и других зональных массивах Платиноносного пояса Урала, представленное самородной платиной и интерметаллидами МПГ, формировалось в условиях диапазона температур от 900 до 550 °С. При этом выделению платины из кристаллической решетки хромшипелидов существенно способствовали наложенные процессы их метаморфизма, попутно приводящие и к повышению их железистости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бетехтин А. Г. Платина.—М.—Л.: Изд. АН СССР, 1935.—148 с.
2. Джексон Е. Д. Вариации химического состава существующих хромита и оливина в хромитовых зонах комплекса Ступутер // Магматические рудные месторождения.—М.: Недра, 1973.
3. Заваринский А. Н. Коренные месторождения платины на Урале.—Материалы по общей и прикладной геологии.—М.: Геолком, 1928, вып. 108.—56 с.
4. Иванов О. К., Шилов В. А., Шилова Т. А. Дуниты Нижне-Тагильского массива (Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол.—1980.—№ 10.—С. 29—45.
5. Кашин С. А., Козак С. С., Николаева Л. А., Тихомиров К. П. Минералогические и петрохимические особенности пород платиноносной формации Среднего Урала и некоторые закономерности распределения платины.—М.: ОНТИ НИГРИЗолото, 1956.—113 с.

6. Кривцов А. И. Месторождение платиновых // Итоги науки и техники. Рудные месторождения. Том 18.—М., 1988.—132 с.
7. Малахов И. А. О термодинамических условиях серпентинизации // Проблемы геологии Урала.—Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973.—С. 38—52.
8. Малахов И. А. Петрохимия главных формационных типов ультрабазитов.—М.: Наука, 1983.—224 с.
9. Малахов И. А. Хромшпинелиды как модель формирования и потенциальной алмазности кимберлитов Среднего Тимана // Межвуз. сб. Иркутского политехн. ин-та.—Иркутск, 1990.
10. Малахов И. А., Малахова Л. В. Нижне-Тагильский пироксенит-дунитовый массив и имеющие его породы // Тр. Ин-та геологии и геохимии УФ АН СССР.—Свердловск: УФ АН СССР, 1970. Вып. 83.—166 с.
11. Разин Л. В. К вопросу о генезисе платинового оруденения форстеритовых дунитов // Геология рудных месторождений.—1968.—№ 6.—С. 10—25.
12. Разин Л. В., Хоменко Г. А. Особенность накопления осмия, рутения и остальных металлов группы платины в хромшпинелидах платиноносных дунитов // Геохимия.—1969.—№ 6.—С. 659—671.
13. Смирнов В. И., Гинзбург А. И., Григорьев В. М., Яковлев Г. Ф. Курс рудных месторождений.—М.: Недра, 1986.—1986.—360 с.
14. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии.—Новосибирск: Наука, 1974.—263 с.
15. Fabries G. Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes.—Contrib. Mineral. and Petrol., 1979, v. 69, N 4, p. 329—336.
16. Irvine T. N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Pt. 1. Theory.—Canad. J. Earth Sci., 1965, v. 2, N 6, p. 648—672.

УДК 553.896.422.6

А. Г. Бушев, Ю. А. Поленов, Г. Д. Алеров

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖАДЕИТА

Выяснению вопроса жадеитообразования придается большое петрологическое и практическое значение, так как жадеит как дорогостоящее ювелирное сырье широко используется в странах Востока.

Строение месторождений

Жадеит известен в Бирме, США, Китае, Японии, Югославии, Италии, Индонезии и в Советском Союзе в связи с массивами ультраосновных пород в амфиболитовых поясах [4]. Однако крупные месторождения выявлены лишь в Бирме (Таумай, Минемай и др.) и в Казахстане (Итмурунды) и связаны, согласно Н. Л. Добречеву, с ониколитами третьего типа [4]. Для них характерно развитие таких высокобарических ассоциаций пород, как гранатовых перидотитов и пироксенитов, эклогитов, глаукофанодержащих метабазитов, наличие основных пород эвклиптического (кальций-глиноzemистого) состава со щелочным уклоном и натриевый, реже магнезиальный [9] тип метасоматоза.

Возраст ониколитовых поясов, продуцирующих месторождения жадеита, различен: от каледонского (Лево-Кечельское на Полярном Урале, Борус в Саянах), герцинского (Итмурунды) до мезозойского (месторождения Бирмы, Гватемалы, Мексики, Японии и др.).

Жадеитоносные массивы относятся к габбро-перидотитовой или дунит-гарцбургитовой формации, для которой характерно сложное строение, обусловленное широким распространением различных по составу, но тесно взаимосвязанных между собой пород от ультраосновного до гранитного составов. Преобладающими породами являются гарцбургиты, слагающие 50—60 % объема массивов. В меньшей степени распространены лерцолиты и оливиновые лерцолиты, образующие самостоятельные интрузивные образования, а также линзовидные и жильные тела дунитов, гориблендитов, пироксенитов, габбро, дворитов и плагногранитов. Зональность массивов определяется сменой дунитовых пород, которые

занимают центральные ядерные участки интрузива, перидотит-пироксенитовыми и далее, к краевым участкам, гарцбургитовыми. Пространственно тесно ассоциирующие тела плагиогранитов, альбититов и жадеитов развиваются исключительно в приконтактовых зонах массивов или тяготеют к провесам его кровли.

Интенсивная серпентинизация с преобладанием антигоритизации ультраосновных пород связывается, главным образом, с региональным метаморфизмом, но она весьма характерна также для позднего магматического и постмагматического процессов. Жадеитоносные ультраосновные породы выделяются высокой степенью магнезиальности ($M/F = 5,4-5,8$ до $6,3-6,7$) и железистости ($J' = 0,10$) и низкой хромитоносностью (8—10). Содержание в них рубидия и цезия в 150 раз превышает кларковые, а количество акцессорного жадеита достигает 100—120 г/т. По данным Н. Л. Добрецова [4] в ультраосновных породах Борусского массива отмечаются повышенные содержания цинка, титана и алюминия, а также пониженное количество бария, стронция, железа, магния и кальция. Высокие содержания в гипербазитах натрий-калия и редких щелочей указывают на щелочной геохимический тип пород, с которыми связан жадеит.

Степень эрозионного среза жадеитоносных массивов небольшая, с чем свидетельствуют неровный, изгибающийся характер контактов его поверхности, наличие многочисленных ксенолитов вмещающих пород и жильных тел, высокая степень площадной серпентинизации и окисленности железа в минералах. Расчетные коэффициенты фациальности массивов равны 0,10—0,12, а число Хеса-Соболева — 5,4—5,8 [1].

Дайковый комплекс, с которым связаны жадеитовые скопления, по-всеместно располагается в зоне милонитизации, для которой характерна интенсивная перекристаллизация антигоритовых серпентинитов с новообразованиями диопсида, изэтрового актинолита и гидрогроссуляра. Для крупных скоплений жадеита состав дайково-жильного комплекса ограничивается гранитондами, альбититами пегматоидного облика и плагиоклазитами. Для мелких — существенное значение приобретают тела плагиогранитов, гранодиоритов, гроссулярсодержащих плагиоклазитов (Япония, Калифорния, Полярный Урал, Китай и др.), жилы кальцит-натролитового и натролитового составов.

Характеристика жадеитоносных образований

Жадеитовые и жадеитсодержащие тела изучались многими исследователями [1, 4, 6, 7, 8, 9, 10], указывающими на разнообразную их морфологию даже в пределах одного рудного поля. Выделяются тела неправильной, жильной, трубообразной, изометричной, линзовидной и плитообразной форм. Наиболее продуктивны крупные жилы. Размеры их колеблются от 200—400 до 600 м в длину, 80—100 м по падению, при мощности 10—30 до 200 м. В них отмечаются резкие раздувы и пережимы. Размеры изометричных и линзовидных образований, как правило, незначительные и не превышают первых десятков метров.

Тела жилообразной, плитообразной и неправильной форм обычно выполняют трещинные полости сбросо-сдвигового и взбросо-сдвигового типа, что устанавливается по сколовому характеру трещин, бороздам скольжения, зонам милонитизации в контактовых участках. Изометричные и линзовидные тела обычно не подчинены каким-либо тектоническим нарушениям и имеют плавные, но достаточно четкие контакты с вмещающими породами. Никаких подводящих каналов или проводников не устанавливается. Это может свидетельствовать о формировании жадеитовых тел как в полостях остаточного типа, так и в процессе пере-

—шения исходного расплава и более интенсивном взаимодействии его смещающими ультраосновными породами. И действительно, в экзоконтакте инъекционных тел отмечаются зоны актинолитизации, тремолитизации, железо-магнезиальных слюд, появляются такие минералы, как гроссуляр и корунд. С другой стороны, в непромышленных телах экзоконтактовые изменения выражены слабо. Следует отметить, что благодаря сложной, пока еще не до конца расшифрованной, поздней эволюции ультрабазитовых массивов, многочисленные дайковые, в том числе и жадентовые, тела разбудированы, что затушевывает картину экзоконтактовых явлений. В силу высоких физико-механических свойств жадент хорошо сохраняется в виде округлых будин, «закатанных» в глиноцематическую массу сложного состава. Тем не менее для жадентовых образований устанавливается два четко выраженных типа зональности [1, 3, 6, 9, 10]. Первый тип характеризуется смесью от контактов к центру тел зон кварц-плагиоклазового состава гипидиоморфозернистой и графической структуры, далее существенно плагиоклазового, затем амфиболового и пироксенового (жадеитового). Жадент или кварц занимают ядерные участки тел, но совместно встречаются крайне редко. Во втором типе краевая зона обычно сложена мономинеральным альбитом или альбит-жадентовым комплексом, который к центру смешивается сложной амфибол (пироксен)-плагиоклазовой зоной и далее жадентовым ядром, передко занимающим 40—60 % объема тела. Первичная зональность часто нарушена поздней наложенной низкотемпературной минерализацией.

Как показали исследования, жадент встречается в связи с породами, метаморфизованными при высоких давлениях, но в различных температурных интервалах. Он отмечен в породах эклогит-амфиболитовой фации, для которых характерны температуры формирования 650—800 °С, гранат-глаукофановой, температурный интервал образования которой соответствует 450—650 °С, а в глаукофан-сланцевой — 300—450 °С. Значительная часть месторождений располагается в породах, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой фации, что обеспечивает резкое прогрессирование низкотемпературных гидротермальных процессов и появление новообразованного жадента, преимущественно ювелирного. Индекс-минералами здесь являются глаукофан, хлорит, лавсонит, пумпеллит и эпидот. Для бирманских месторождений, кроме того, характерны роговые обманка и дистен, для калифорнийских — кроссит, японских — актинолит [4].

Глубины формирования этих пород, согласно Н. Л. Добрецову [9], составляют более 8 км. Так, полярноуральский оphiолитовый комплекс образовался на глубине 14—15 км, а Кентерлауский — 8—10 км. Общее давление при этом достигало 8—10 кбар за счет флюидного буферного сверхдавления при гидратации зеленокаменных тел [4]. Экспериментальным путем устанавливается поле устойчивости чистого жадента при давлении выше 10 кбар в интервале температур 250—1200 °С [4], что соответствует предыдущим данным.

Взаимосвязь жадентов с магматическими образованиями

Жадентовые образования повсеместно ассоциируют с гранитоидами, плагиоклазитами и альбититами ультрабазитового комплекса. О их генетической связи все исследователи не расходятся во мнении, что подтверждается пространственной приуроченностью этих жил к одним элементам структуры, развитием гранитоидных и плагиоклазитовых оторочек вокруг жадентовых выделений. Считается, что гранитоиды являются производными габбро-перidotитовой магмы океанического типа,

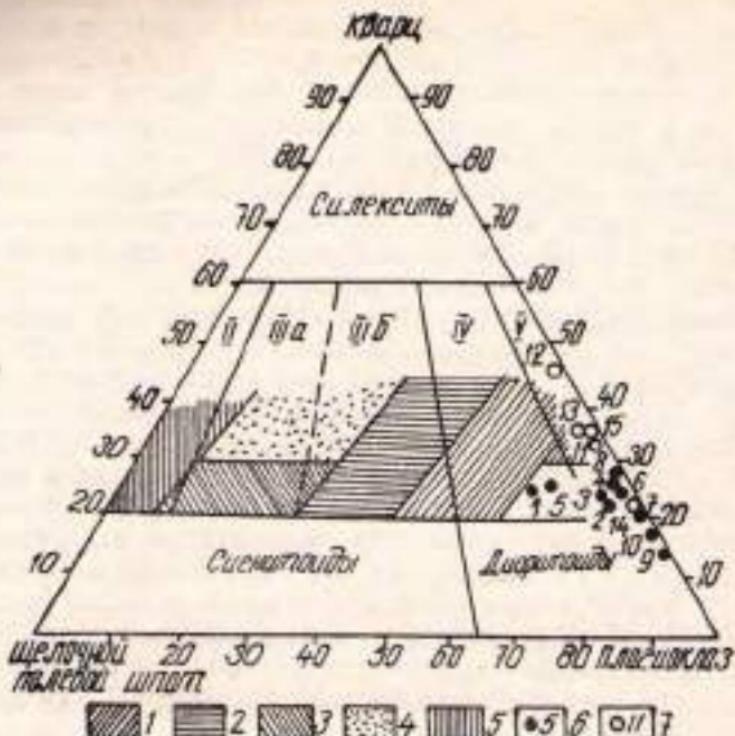


Рис. 1. Положение гранитоидов офiolитовых комплексов на диаграмме калиевый полевой шпат — кварц — пластиоклаз.

1—5 — области гранитоидов материнских для лейкогнатов разных формаций: 1 — слюдяноческих, 2 — редкометальных, 3 — редкоzemельных, 4 — флюорит-редкоzemельных, 5 — собственно хрустальноносных; 6 — жаденитоносных офилитовых комплексов; 11 — щелочно-полевошпатовые граниты; 11а — граниты поля «а»; 11б — граниты поля «б»; 1/IV — гранодиориты; V — плагиграниты и тоналиты.

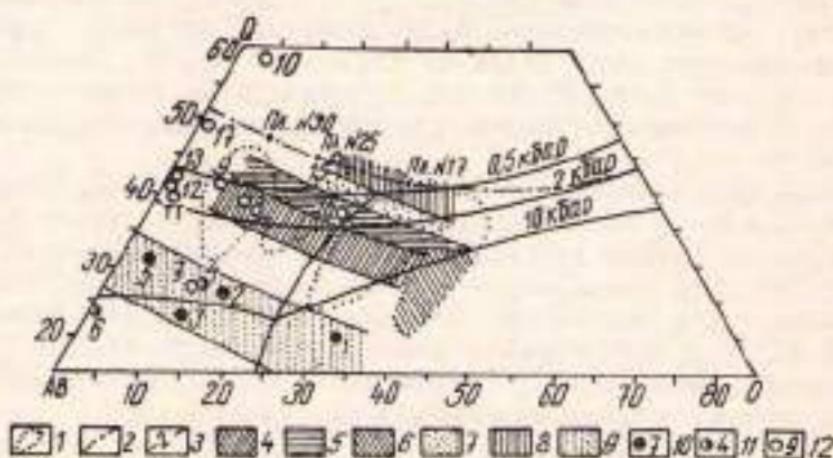


Рис. 2. Нормативные составы гранитоидов офилитовых комплексов на диаграмме системы кварц — ортоклаз — альбит — вода:

1 — граница распространения земматитоносных гранитоидов по 400 анализам; 2 — каниходы при z кмбр при разном составе плагиоклаза (Х. Платен, 1967); 3 — каниходы для разных давлений при альбите; 4—9 — поля земматитоносных гранитоидов: 4 — слюдяноческих, 5 — редкометальных, 6 — редкоzemельных, 7 — флюорит-редкоzemельных, 8 — собственно хрустальноносных, 9 — жаденитовых; 10—12 — средние значения составов гранитоидов офилитовых комплексов в их номера (см. таблицу); 10 — премыделено-жаденитоносных, 11 — с руслопроявлением жадита, 12 — нежаденитоносных.

образующимися в процессе ее кристаллизационной дифференциации [7]. Они располагаются, главным образом, в пределах массивов ультраосновных пород, образуя цепочки линзовидных, дайкообразных и изометрических тел размером от 10—50 до 300—1000 м в поперечнике. Гранитоиды представляют собой мелко- и среднезернистые светлые породы гипидиоморфозернистой с участками гранофировой структуры, иногда пегматоидного облика, но затушеванными поздними процессами метаморфизма, что обусловило ее гнейсовидность [7].

По минеральному составу гранитоиды относятся к лейкократовым биотитовым, биотит-амфиболитовым и амфиболовым плагиогранитам,

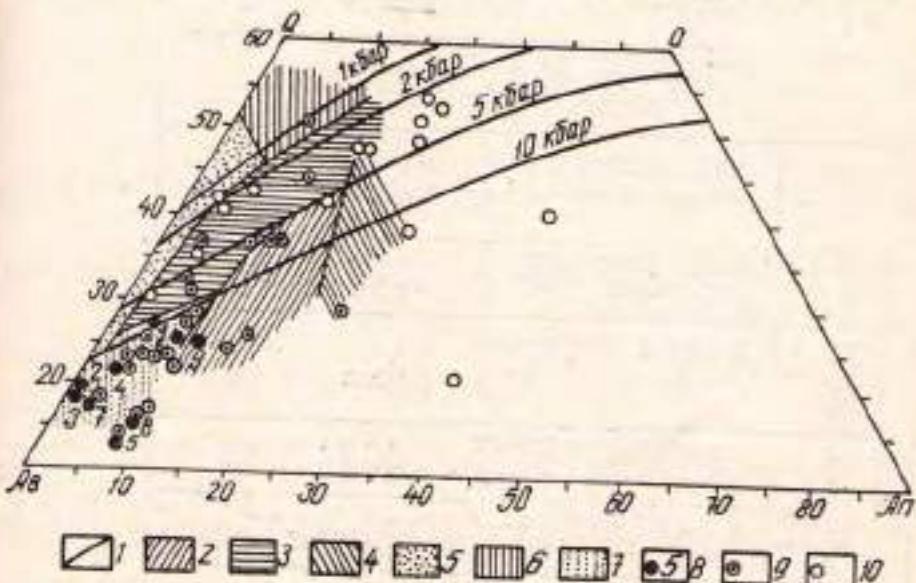


Рис. 3. Положение плагиогранитов оphiолитовых комплексов и экзектических кварц-плагиоклазовых пегматитов на диаграмме альбит — кварц — аморфит — вода:

1 — канонды для плагиоклазовой экзектики при разных давлениях в кбар; 2—7 — поля кварц-плагиоклазовых штатитов разных формаций: 2 — слюдоносных, 3 — юдлометальных, 4 — редкоzemельных, 5 — флюорит-редкоzemельных, 6 — собственно-хрусталиконосных, 7 — жадеитовых; 8—10 — зоны плагиогранитов и экзектических пегматитов комплекса оphiолитовых консоний их номера: 8 — промышленно-жадеитоносных, 9 — рудопроводящих, 10 — нежадеитоносных.

реже гранодиоритам и диоритам (рис. 1). Количество цветных минералов в них не превышает 3—6 %. Для гранитоидов характерно содержание кварца в количестве от 19—25 до 25—28 % и присутствие кислого плагиоклаза № 3—12, что отличает их от нежадеитоносных океанических гранитоидов с содержанием кварца 30—40 %, и присутствие олигоклаз-андезина. Химический состав «жадеитоносных» гранитоидов (см. таблицу) выделяется низким содержанием кремнезема (66—72 %), высоким — щелочей (7,7—8,7 %), при ведущей роли окиси натрия (4,7—7,0 %) и глинозема (13,0—15,6 %) (см. таблицу). На диаграмме альбит-кварц-ортоклаз (рис. 2) они занимают положение пород, пересыщенных окисью натрия, а их нормативный состав находится ниже канонды 10 кбар. С учетом поправки Х. Платника [3] кристаллизация гранитоидов происходит при давлении 10—12 кбар, что подтверждается и данными диаграммы альбит-кварц-амортит (рис. 3). По кварц-плагиоклазовому геотермометру [2] температура кристаллизации гранитоидов составляет 600—680 °С. Таким образом, своеобразие минерального и химического состава гранитоидов определяется их достаточно глубинными и относительно низкотемпературными условиями образования.

Химические и пороговые составы жадеитовых и нежадеитовых гранитоидов оphiоконтовых комплексов

Кемперау	Жадеитосность						Нежадеитосность						Зап. Монсом				
	Ар- хару			Воднор- один- сталь			Золото- титано- титан			Си- Безита			Среднее Побуже				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	
SiO ₂	66,76	68,80	71,60	66,86	67,52	72,86	68,04	72,69	73,76	75,82	71,84	61,72	75,80	72,56	70,65	67,32	63,95
TiO ₂	0,21	0,15	0,08	0,68	0,72	0,18	0,46	0,44	0,26	0,06	0,49	0,14	0,34	0,45	0,48	0,49	
Al ₂ O ₃	16,87	14,76	15,57	15,30	13,03	15,05	12,99	13,52	14,32	14,05	13,27	16,23	12,90	12,36	14,45	15,17	13,65
FeO	0,66	1,33	0,21	1,60	1,27	0,20	3,81	1,26	0,75	0,21	—	1,60	2,64	1,90	1,42	3,80	
FeO*	0,78	1,00	0,33	2,26	6,54	0,18	3,21	1,68	0,79	0,96	4,94	6,87	2,00	1,88	2,61	2,66	5,54
MnO	0,05	0,68	0,03	0,10	0,24	—	0,10	0,05	0,08	0,01	0,05	0,11	0,06	0,08	0,07	0,08	
MgO	1,44	1,50	1,46	1,30	0,72	0,53	1,97	0,98	1,01	0,66	1,62	3,37	0,40	1,19	0,98	1,28	2,23
CaO	1,58	1,79	0,69	1,19	2,82	1,62	3,41	1,16	1,71	3,66	3,45	7,21	0,79	2,14	3,26	3,50	7,81
Na ₂ O	4,73	5,68	6,94	5,55	5,46	5,04	8,27	5,04	4,70	3,38	4,05	3,52	5,80	5,58	2,90	3,27	0,22
K ₂ O	4,37	2,07	1,69	1,69	0,53	—	1,46	1,16	0,54	0,28	0,56	0,20	0,08	2,54	2,76	0,10	
Прочие	2,26	2,14	1,04	0,10	1,29	0,69	2,48	0,71	1,10	0,72	—	1,32	0,91	0,98	1,39	3,58	
Сумма	99,73	99,30	99,62	99,63	100,14	99,59	100,61	98,81	99,54	100,07	99,96	100,08	100,01	99,67	100,54	99,48	100,85
Ko/Na	3	4	1	1	1	2	1	3	1	4	9	4	1	2	6	11	2
аналогии																	
Or	26,2	12,2	10,0	10,0	2,8	—	8,9	8,9	7,2	2,8	1,7	3,3	1,2	0,6	15,3	16,7	0,6
Ab	39,8	48,2	58,2	47,7	46,7	70,3	42,5	41,4	39,8	28,8	34,3	29,8	49,3	47,2	24,6	27,8	1,6
An	8,1	8,6	3,6	5,8	10,0	3,9	10,3	5,8	8,3	18,4	17,1	26,8	3,7	8,6	16,4	17,3	35,9
Q	16,3	21,1	21,1	21,4	21,9	21,1	19,0	33,2	36,2	44,5	33,6	15,0	36,5	33,5	26,0	36,7	2,4
di	—	0,1	—	3,3	3,3	5,6	—	—	—	7,5	—	—	1,6	—	—	—	
hy	4,8	4,9	4,2	7,2	12,1	—	9,9	5,1	3,6	12,4	16,8	7,2	3,9	6,5	7,4	17,6	
c	1,4	—	1,1	2,0	—	—	1,6	2,1	1,1	0,04	—	—	—	0,8	0,4	—	
Прочее	0,8	0,6	0,2	1,6	1,3	0,3	3,8	1,5	1,2	0,2	0,9	0,16	7	3,4	2,4	0,4	5,2
Номер пла- тформ	16	14	6	11	18	4	20	3	3	33	33	39	15	40	38	93	

К вопросу о генезисе жадентовых образований

В обширной литературе о жадентовых месторождениях дискутируется три основных вопроса: происхождение гранитоидов в ультрабазитах, их связь с жаденообразованием; термодинамические условия образования жадентовых жил и жадеита.

Большинство исследователей считает, что дайкообразные тела пластигранитов, гранодиоритов и диоритов, которые пространственно тесно ассоциируют с массивами ультраосновных пород, являются продуктом закономерной эволюции магматизма начальных стадий развития складчатых систем [3, 5, 7]. Приведенные материалы подтверждают эту точку зрения.

Относительно связи гранитоидов с жаденоносными образованиями имеется три точки зрения. Одни исследователи считают эту связь генетической, другие — парагенетической, а некоторые ее отрицают [3, 4, 5, 6, 7]. Этот вопрос имеет большое практическое значение, и от его решения зависит один из основополагающих признаков оценки жаденоности ультрабазитов. Детальное изучение месторождений страны позволило установить следующее:

1 — жадентовые образования локализуются в эндоконтакте массивов ультраосновных пород совместно с телами гранитоидов, пегматитов и плагиоклазитов (альбититов), образуя жильный пояс, приуроченный к единой структуре, и практически одновременно, так как отсутствуют пересечения этих тел;

2 — все исследователи отмечают взаимосвязь плагиогранитов с альбититами, альбититов — с жаденоносными телами, они наблюдаются непосредственно в одних и тех же телах, не разобщенных в пространстве;

3 — геохимическая специализация пластигранитов, альбититов и жадентовых тел повсеместно идентичная и достаточно устойчивая;

4 — в жадентовых жилах отмечается строгая зональность от кварц-полевошпатового (гранитоидного) или плагиоклазового (альбитового) составов до жадентового ядра;

5 — в пределах жаденоносных полей намечается латеральная зональность, выраженная в последовательной смене пород с высокотемпературной минеральной ассоциацией (магматической) до более низкотемпературной (гидротермальной): гранитоид — плагиоклаз — амфибол — жадеит — кварц. Такая зональность весьма характерна для любых магматических и постмагматических фаций и особенно — для пегматитовых месторождений.

Разбор указанных положений в отдельности, а реже в совокупности приводил и к разной трактовке генезиса жадентовых месторождений. Так, М. Лакруа и другие исследователи [4] относили жадентовые жилы либо к пегматитам нормального типа, либо к десилицированным, либо основного состава. А. Н. Заварицкий [5] выделял среди жильных образований перidotитовых матм пластиграниты, пегматиты и альбититы, причем последние он считал промежуточными продуктами между пегматитами и гидротермальными жилами. Зональность в пегматитах А. Н. Заварицкий связывал с процессами перекристаллизации и метасоматоза по дайкам гранитного состава. Близкой точки зрения придерживаются Н. Л. Добрецова и К. Г. Пономарева [4] и В. М. Москалевы [4], которые ведущую роль отводят аллометасоматическим высокотемпературным [4] или низкотемпературным [8] натриевым растворам, а Д. С. Коржинский [6] — биметасоматическим гидротермальным процессам.

Не вдаваясь в критический разбор приведенных точек зрения на образование жадентовых тел, каждая из которых имеет право на ис-

толкование лишь одной стороны вопроса, а не проблемы в целом, укажем на основные отправные моменты, которым следуют авторы.

1. Установленное генетическое родство жадитовых образований с гранитами (гранитным расплавом) свидетельствует о их тесной взаимосвязи.

2. Ильекционный характер жадитовых тел и наличие в эндоконтакте высокотемпературных и высокобарических пород гипидноморфно-зернистой и графической структур определяют их изначально магматическое происхождение.

3. Согласно определению А. Е. Ферсмана под пегматитовым процессом понимается «процесс кристаллизации остаточной магмы, начиная с явлений телокристаллизации и кончая последними ее выделениями», т. е. пневматолитовыми и гидротермальными. Таким образом, пегматит — это «жильные или миаролитовые заполнения, которые связаны с кристаллизацией магматических остатков, при условии их пространственного разобщения с материнской породой».

Рассмотрение внутреннего строения и условий локализации жадитовых тел, материалов по кристаллизации минералов и минерально-парагенетическим ассоциациям, распределению редких и шелочных элементов позволяет наметить схему эволюции пегматитов натриевой специализации, генетически связанных с ультрабазитовыми массивами.

При кристаллизации происходит естественное отжигание более легкоплавкой лейкократовой части магмы в структурные ловушки апикальной части массивов. В одних случаях это неровность его кровли, в других — зоны повышенной трещиноватости, наиболее проявленные в контакте массива с вмещающими породами. Кристаллизация «остатка» начинается с температуры несколько выше 600°C и давлении 8—14 кбар в виде кварц-полевошпатовой эвтектической породы. В пневматолитовый этап в хорошо зональных высокопродуктивных телах отмечается последовательная кристаллизация плагиоклаза, амфибала, жадеита и кварца, образующих самостоятельные зоны. Образование минералов и пород происходит из надкритических растворов при постепенном падении температур от 570 — 580°C до 400°C и давлении от 8—12 до 4—7 кбар. Как показали наблюдения, многие жадитоносные образования являются не пегматитами, а типичными пневматолитами, о чем свидетельствует отсутствие в них зон магматического происхождения. В этом случае может наблюдаться процесс десиликации, особенно интенсивный при соприкосновении расплав-растворов с породами, содержащими мало кремнекислоты. Именно в этих условиях отмечаются наиболее значительные экзоконтактовые изменения пород. Породы реакционных хайм — продукты пневмато-гидротермальных процессов включают в себя минералы, содержащие воду (биотит, актинолит, хлорит и др.), углекислоту (антigorит) и фтор. Завершается формирование жадитовых жил гидротермальным этапом высоко- и низкотемпературной стадии, соответственно с параметрами 320 — 390°C и ниже 300°C при давлениях 1,5—4 кбар.

Жадеит образуется в широком диапазоне температур и давлений. Ранняя его генерация, по составу отвечающая собственно жадеиту с низким диопсидовым и эгириновым минералами, слагает основную, обычно центральную часть жилы. Она кристаллизуется из надкритического раствора, отвечающего геохимическому этапу перехода алюминия в катионную форму и смены алюмосиликатов на силикаты. При этом происходит падение щелочности водно-углекислотно-углеводородного раствора в диапазоне температур 430 — 600°C и давлений 7—15 кбар. В ряде случаев отмечается кристаллизация жадеита непосредственно из расплава при $T = 800^{\circ}\text{C}$ и $P = 10$ — 13 кбар. Эта разность жадеита не имеет промышленного значения.

Поздние генерации жадеита, представляющие интерес для ювелирного производства и отвечающие по составу диопсид-жадеиту, омфациту, хлормеланиту и хромжадеиту, образуются, главным образом, в гидротермальный этап. Вместе с поздними генерациями альбита, амфиболов и цеолитов они замещают ранее образованные минералы, цементируют брекчию или выделяются в виде секущих прожилков и неправильных выделений. Образуется такой жадеит из углеводородно-водноутлекислотного раствора при температуре 200—430 °С и давлении 0,3—1,5 кбар. Как отмечали А. Миширо и С. Банио [4], наличие в жадете примесей железа, хрома и кальция расширяет границы его существования и поля его устойчивости.

Из сказанного следует:

1. Жадеитовые образования занимают закономерное место в ряду формаций гранитных пегматитов и пневматолитов, являясь более высокобарическими по сравнению с редкоземельными, слюдоносными, редкометальными и хрусталеноносными.

2. Жадеитовые месторождения генетически связаны с плагиогранитами, производными гипербазитовых магм олиголитовых поясов экзократитового типа с натриевым уклоном. Их формирование происходит в условиях метаморфизма зеленосланцевой, реже амфиболитовой фации эклогит-глаукофакового типа на глубинах 8—15 км при водно-углеводородно-углекислотном составе летучих компонентов.

3. Месторождения представляют собой поля эпигенетических легматитов и альбититов в зонах тектонических нарушений в апикальной части массивов гипербазитов. Цветные (ювелирные и ювелирно-поделочные) разности жадеита более характерны для зональных крупных тел и жил, расположенных на удалении от материнских гранитоидов. Благоприятными факторами в этом отношении являются значительные экзоконтактовые ореолы изменения боковых пород и широко представленные минеральные ассоциации гидротермального происхождения при содержании в них повышенного количества хрома.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ааров Г. Д., Зарянов К. Б., Корнишин А. А. Цветные камни в ультраосновных породах Западного Прибалхашья // Драгоценные цветные камни.— М.: Наука, 1980.— С. 106—109.
2. Бушев А. Г., Родионов Г. Г. Критерии поисков мусковитовых месторождений // Поисковые критерии и разведка слюдоносных пегматитов.— М., 1979.— С. 50—69.
3. Добрцов Н. Л. Минералогия, петрография и генезис гипербазитов, жадеититов и альбититов хр. Борус (Западный Саян) // Материалы по геол. и эксперим. минералогии, т. 1.— Новосибирск: Наука, 1963.— С. 242—316.
4. Добрцов Н. Л., Татаринов А. В. Жадеиты и нефриты.— Новосибирск: Наука, 1983.
5. Заваринский А. Н. Перидотитовый массив Рай-Из в Полярном Урале // Извр. тр. АН СССР.— 1956.— Т. 1.— С. 483—664.
6. Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н. Геология месторождений поделочных камней.— М.: Недра, 1983.— 263 с.
7. Коулман Р. Т. Олиголиты.— М.: Мир, 1979.— 261 с.
8. Москалева В. Н. Жадеититы // Драгоценные и цветные камни как полезное исконочное.— М.: Наука, 1973.— С. 81—87.
9. Породообразующие и ювелирно-поделочные жадеиты Прибалхашья и Полярного Урала / Смирнов А. Ф., Коваленко В. С., Смирнова А. А. и др. // Минералы и парagenезис минералов горных пород и руд.— Л.: Наука, 1979.— С. 100—110.
10. Татаринов А. В., Кизиляров Г. П., Прокудин С. Г. Сферолитовые агрегаты ювелирно-поделочных жадеититов Борусского пояса олиголитов Западного Саяна // Минералогия и генезис цветных камней Восточной Сибири.— Новосибирск: Наука, 1983.— С. 90—96.

ГЕОЛОГИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК (553.24 + 553.3) : 553.078

O. N. Грязнов

МЕТАСОМАТИЗМ И РУДООБРАЗОВАНИЕ

(Проблемы уральской геологии)

Учение о метасоматизме развилось на сегодня в самостоятельное направление геологической науки. Базируясь на законах специфического петрогенезиса, оно теснейшим образом связано с теорией рудообразования, имея практический выход в закономерности размещения эндогенных месторождений, их прогнозирование, поиски и оценку. Различные аспекты интегральной проблемы «Метасоматизм и рудообразование» являлись предметом детального обсуждения на всесоюзных, республиканских и региональных совещаниях в течение последних 30 лет. Итоги развития учения свидетельствуют о его неоспоримой актуальности, большом теоретическом и прикладном значении.

В учении о метасоматизме существуют различные школы, отражающие разные подходы в исследовании его отдельных направлений. Главные из них — геологическое, минералого-петрографическое, геохимическое и физико-химическое. Уральские геологи — приверженцы геологического подхода (в совокупности с минералого-петрографическим и геохимическим) в изучении метасоматических образований путем их карттирования в различных масштабах, исследования связей рудоносных метасоматических формаций с магматизмом и метаморфизмом, генетических и пространственных соотношений метасоматитов, выявления рядов эндогенных формаций; прикладное значение исследований — прогнозная оценка рудных районов, полей и месторождений на основе метасоматической зональности.

Не касаясь многих аспектов учения, остановлюсь лишь на некоторых, получавших наибольшее развитие в школе метасоматистов Уральского горного института.

Принципы и методы изучения метасоматических образований. Методика полевого и камерального изучения метасоматитов определяет получение объективной информации об их временных, пространственных и генетических соотношениях с геологическими процессами, необходимой для построения моделей развития метасоматических процессов и в конечном счете процессов рудообразования.

Первичная документация естественных и искусственных обнажений, кернов буровых скважин, построение детальных (1 : 500 — 1 : 1000) раз-

резой по профилям горно-буровых работ осуществляется практически всеми исследователями метасоматических образований рудных и нерудных месторождений. Реже составляются погоризонтные планы (1 : 200 — 1 : 500), детальные планы (1 : 1000) и карты поверхности (1 : 2000—1 : 10 000). Опыт картирования метасоматических образований в масштабах 1 : 50 000 — 1 : 200 000 пока ограничен. Картирование формаций рудоносных метасоматитов осуществляется в Уральском горном институте, ЦНИГРИ, ИГЕМе, КазИМСе, Институте геологии и геохимии УрО РАН, Институте геологии БашНЦ УрО РАН, Институте геологических наук АН Казахстана, ряде производственных организаций Урала, Сибири, Дальнего Востока, Казахстана и Средней Азии. Применительно к так называемым региональным метасоматическим формациям эти работы проводятся во ВСЕГЕИ.

Многолетний опыт изучения рудоносных метасоматитов месторождений радиоактивных, редких, цветных и благородных металлов в различных регионах Урало-Монгольского подвижного пояса, их картирования в масштабах 1 : 2000 — 1 : 10 000 — 1 : 50 000 (1 : 25 000) — 1 : 200 000 позволили разработать основные принципы и методику изучения эпигенетических образований [3]. В исследовании этих вопросов совместно с автором в различные годы участвовали Ю. А. Дворников, В. Н. Ослоповских, В. И. Чесноков, Л. Я. Берг, В. В. Григорьев, В. А. Елохин, И. Г. Перминов.

Основные принципы изучения и картирования рудоносных метасоматитов включают: генетический подход к выделению, изучению и картированию метасоматитов; фациально-формационный анализ метасоматитов; метасоматическую (фациальную, формационную, полиформационную; локальную, площадную, региональную) зональность; отражение уровней организации вещества в процессе изучения и картирования метасоматитов; полноту выделения и картографического отражения эпигенетических образований; выбор объектов изучения и их соответствия масштабу работ; комплексное изучение свойств и полей метасоматических пород и формаций; количественную оценку геологической информации.

Методика изучения и картирования рудоносных метасоматитов предусматривает: изучение эталонных объектов; первичную документацию естественных обнажений, горных и буровых выработок; соблюдение плотности наблюдений и опробования; минералого-петрографические, петрохимические, геохимические и петрофизические исследования; построение разрезов по профилям горно-буровых работ, погоризонтных планов, составление карт масштабов 1 : 2000 — 1 : 10 000 — 1 : 50 000 (1 : 25 000) — 1 : 200 000.

Внедрение в практику геологоразведочных работ таких понятий, как «кореол» и «ареал» применительно к рудоносным метасоматическим образованиям (минералам, породам, фациям, формациям, семействам и группам формаций), позволяет картировать их практически в любом масштабе. Это подтверждается опытом изучения и картирования рудоносных метасоматитов в Уральском горном институте на примерах эндогенных месторождений, рудных полей и районов Северного Тянь-Шаня и Мугоджар (1 : 1000 — 1 : 2000 — 1 : 10000), Южного Зауралья (1 : 25000), Центральной и Восточной Сибири (1 : 2000 — 1 : 50000), Приполярного (1 : 50000) и Полярного (1 : 5000 — 1 : 200000) Урала. Первым опытом таких работ в Уральской геологосъемочной экспедиции Уралгеолкома явилось издание методических рекомендаций по картированию рудоносных метасоматических образований Урала [3], а на их основе — составление Схематической карты распространения рудоносных метасоматических формаций и метаморфизма средней части Восточно-Уральского поднятия в масштабе 1 : 200000 [1].

Карты рудоносных метасоматических образований различных масштабов позволяют выявлять закономерности формирования и размещения в геологических структурах месторождений многообразных полезных ископаемых, осуществлять обоснованный прогноз и оценку перспективности конкретных площадей на те или иные виды минерального сырья.

Метасоматизм и рудообразование. Вопрос о взаимосвязи оруденения и гидротермального изменения пород является принципиальным, поскольку он определяет генетические, временные и пространственные соотношения оруденения и «околорудного» метасоматоза, условия рудоотложения и, в конечном счете, закономерности размещения месторождений. «Отнимите метасоматические изменения боковых пород и мало что останется от гидротермального рудоотложения», — так образно определил роль метасоматических процессов преобразования вмещающих пород Н. И. Наковник. Действительно, гидротермальные метасоматиты наиболее полно характеризуют гидротермальный процесс в целом, оруденение же в пространстве и времени фиксирует лишь его фрагмент, отражая продукты рудных стадий, занимающие часть объема метасоматически измененных пород. Вместе с тем каждая метасоматическая формация характеризуется определенной металлогенической специализацией [2, 4, 7].

Отражением генетических взаимосвязей геологических, метасоматических в рудных формаций, условий образования рудоносных метасоматитов могут служить классификации метасоматических формаций. Анализ основных классификаций приведен в работе [2]. Наиболее популярна сегодня классификация В. А. Жарикова и Б. И. Омельяненко [4], охватывающая известные типы метасоматических образований. Наряду с такой классификацией несомненно потребность в разработке систематики главных типов рудоносных метасоматических формаций. Ассоциации рудоносных (околорудных) пород эндогенных месторождений могут быть объединены в три класса и ряд групп метасоматических формаций, характеризующихся конкретными геологическими и физико-химическими условиями образования, связью с магматизмом или метаморфизмом, устойчивым вещественным составом, определенной геохимической и металлогенической специализацией:

A. Магматогенные формации. Среди них выделены:

1) плутоногенные формации, включающие постинтрузивные контактные формации — магнезиальных скарнов, известковых скарнов, фенитовая, постмагматические формации — полевошпатовых метасоматитов, альбититовая апогранитная, грейзеновая, кварц-турмалин-хлоритовых метасоматитов, серпентинитовая, щелочных полевошпатовых метасоматитов, альбититовая апоминаскитовая, уралитовая;

2) плутоногенно-вулканогенные постмагматические формации — пропилитовая, оксаталитовая, лиственит-березитовая, гумбентовая, эйситовая, гидрослюдистых метасоматитов, аргиллизитовая, карбонатитовая;

3) вулканогенные послемагматические формации — аргиллизитовая сольфатарно-фумарольная, вторичных кварцитов, кварц-хлорит-сернистых метасоматитов.

B. Метаморфогенные формации, включающие:

1) формации, связанные с синтетическим плутонометаморфизмом и сопряженным зональным региональным метаморфизмом подвижных поясов — мусковит-полевошпатовых метасоматитов, гематит-магнетит-кварцевая, кианит (силлиманит)-мусковит-кварцевая, антофиллитовая, рутил-кварцевая, родонитовая, тальк-магнезитовая, кварцево-жильная хрусталеносная, углеродистых метасоматитов, кварц-слюдистых метасоматитов;

2) формации, связанные с ультраметаморфизмом и гранитизацией в

структур штитов — магнезиальных скарнов, калий-натриевых (кварц-альбит-микроклиновых) метасоматитов (кальмитов), калиевых метасоматитов (микроклиновая), натриевых метасоматитов (альбититовая).

В. Полигенные формации — железо-магнезиальных карбонатных метасоматитов.

Описание рудоносных метасоматических формаций с различной детальностью приведено в монографических работах Н. И. и М. Б. Бородавских (1947), Д. С. Коржинского (1948, 1953), Н. Н. Курека с соавторами (1954), В. А. Жарикова (1959, 1963), Н. И. Наковника (1964, 1968), В. А. Жарикова и Б. И. Омельяненко (1965), В. П. Федорчука (1969), Д. В. Рундквиста, В. К. Денисенко, И. Г. Павловой (1971), В. Г. Кушева (1972), Ю. В. Казацкина (1972), Г. Т. Волостных (1972), В. Л. Русинова (1972, 1989), М. М. Василевского (1973), Л. И. Шабынина (1973), А. М. Дымкина и В. М. Щербак (1973), Д. В. Рундквиста, И. Г. Павловой (1974, 1981), И. П. Щербаки (1975), В. И. Сазонова (1975, 1984), Е. М. Еськовой (1976), Б. И. Омельяненко (1978), К. В. Подлесского (1979), А. И. Грабежева (1981), В. Б. Чеквадзе (1981), Л. И. Шабынина, Н. Н. Перцева, И. А. Зотова (1984), О. Н. Грязнова (1992) и др.

Метасоматическая формация может выступать в двух значениях — абстрактном и конкретном. Абстрактная формация — это формационный тип, охватывающий все разнообразие условий и признаков, не привязанных к месту и времени в геологической истории. Конкретная метасоматическая формация характеризует устойчивую ассоциацию метасоматических пород, генетически связанную с определенной геологической формацией, занимающую конкретное место в пространстве и времени, геохимически и металлогенически специализированную на определенный тип минерализации. Так, лиственит-березитовый формационный тип отличается достаточно широкими генетическими связями с магматическими формациями разных стадий развития геосинклинально-складчатых областей при довольно широком наборе сопряженной минерализации (золото, полиметаллы, уран, сурьма, ртуть, горный хрусталь и др.). Конкретная лиственит-березитовая формация характеризуется генетическими связями с одной геологической формацией и металлогенически специализирована на одну рудную формацию. Примером может служить лиственит-березитовая формация Сусанско-Абестовской зоны региональных разломов (на границе Восточно-Уральского поднятия и одноименного прогиба Среднего Урала), генетически связанная с кривчанским комплексом гранодиорит-адамеллит-гранитной формации раннего — среднего карбона и специализированная на жильный тип золото-сульфидно-кварцевой минерализации.

В складчатых поясах уральского типа сложная и длительная история геологического развития региональных структур приводит к образованию полигенных и полихронных месторождений и их сообществ (рудных формаций). Таковы глубоко метаморфизованные объекты сульфидной медно-никелевой формации в рифейских гипербазитах и сланцевых комплексах северной части Сысерско-Ильменогорского мегантиклиниория (глубоко метаморфизованные комплексы фундамента); элизонно-метаморфогенно- и магматогенно-метасоматические сидеритовые и магнезитовые формации в железо-магнезиальных карбонатных метасоматитах многосинклинальных комплексов рифея Башкирского антиклиниория; метаморфизованные медно-цинково-колчеданные месторождения среднеуральского типа в кварц-хлорит-серпентитовых сланцевых зонах; колчеданные месторождения Весеннее и 50-летия Октября в Северных Мугоджахах, представляющие последовательное совмещение рифтогенно-геосинклинальных медных руд в кварц-хлорит-серпентитах.

товых метасоматитах, позднегеосинклинальной свинцово-цинковой минерализации в оксаталитах и позднеорогенной редкометально-молибденовой минерализации в аргиллизитах.

Нередко сложные (подчас полигенные и полихронные) объекты формируются разными процессами в пределах одного этапа тектономагматического цикла в однотипных или близких эндогенных режимах. К их числу принадлежат титано-магнетитовые месторождения (раннемагматические и флюидно-метасоматические процессы), телескопированные колчеданные месторождения (гидротермально-осадочные и гидротермально-метасоматические процессы); скарновые магнетитовые (вулканогенно-осадочные и вулканогенно-гидротермальные с наложенными плутоногенными гидротермально-метасоматическими); скарновые золоторудные, редкометальные месторождения (скарны с наложенными процессами кислотного выщелачивания); редкометальные месторождения в последовательно совмещенных щелочных метасоматитах Вишневых гор (полевошпатовых — альбитовых — карбонатитовых) и др.

Особый тип сложных объектов образуется в рядах сопряженных рудных формаций полигенных и полихронных рудных полей и месторождений. В рудных полях Сусанско-Асбестовской зоны глубинных разломов зафиксировано последовательное развитие пегматитовой редкометальной — альбититовой редкометальной — грейзеновой вольфрамомолибденовой — листвениг-березитовой золото-сульфидно-кварцевой и аргиллизитовой редкометально-молибденовой рудных формаций. Домбаровский рудный район характеризуется развитием медноколчеданной — оксаталитовой свинцово-цинковой — грейзеновой молибденовой — аргиллизитовой редкометально-молибденовой рудных формаций. Этот перечень примеров может быть продолжен.

Выявление и изучение рудных формаций, типогенной рудно-метасоматической зональности имеет важное значение при прогнозно-металлогенических исследованиях и перспективной оценке рудных районов, полей и месторождений.

Закономерности размещения рудоносных метасоматических образований определяются эволюцией тектонического режима, геологических структур, магматизма и метаморфизма в истории развития земной коры.

В геологической истории фанерозойских подвижных поясов рудоносные метасоматические формации образуют закономерные ряды с магматическими, метаморфическими и рудными формациями в региональных структурах. Определенным этапам эволюции региональных структур свойственны типоморфные семейства рудоносных формаций, обуславливающие их металлогеническую специализацию [2].

В метаморфических комплексах блоков фундамента реставрируются рудоносные формации (кианит-мусковит-кварцевая, андалузитовая, железистых кварцитов), связанные с процессами послегранитизационного породо- и рудообразования в ареальных вулкано-тектонических структурах, и глубоко преобразованные метасоматиты уралитовой формации с реликтами медно-никелевой минерализации протогеосинклинальных зеленокаменных поясов. Комплексы рифейско-кембрийских и фанерозойских геосинклинально-складчатых областей характеризуются ассоциациями близких формационных типов метасоматитов адекватных режимов при редуцированном наборе байкальских формаций. Вместе с тем только в многоеосинклинальных рифендах установлены полигенные железо-магнезиальные карбонатные метасоматиты. Наибольшей полнотой и разнообразием отличаются фанерозойские формации,ственные рифтогенному, ранне-позднегеосинклинальному (эв- и многоеосинклинальному), ранне- и позднеорогенному режимам и режиму тектономагматической активизации консолидированных структур.

Послеинтрузивные контактовые формации образуются на большинстве стадий геосинклинального цикла в различных геолого-структурных обстановках и характеризуются сидерофильной, халькофильной и реже лиофильной металлогенической специализацией. Последмагматический гидротермальный метасоматоз отличается широким разнообразием геологических обстановок проявления и металлогенами. Платоногенные формации обусловлены эволюцией рифтогенных (уралитовая, серпентинитовая), позднегеосинклинальных (уралитовая, оксатлитовая, лиственинг-березитовая), орогенных (серпентинитовая, полевошпатовых метасоматитов, оксатлитовая, лиственит-березитовая, гумбентовая, альбитовая, грейзеновая, кварц-турмалин-хлоритовых метасоматитов и др.) и активационных структур, сопровождавшихся кислым, средним, реже щелочным и основным магматизмом. Вулканогенные формации распространены в комплексах, главным образом, начальных (кварц-хлорит-серпентитовых метасоматитов, пропилитовая) и конечных (лиственит-березитовая, эйситовая, вторичных кварцитов, аргиллизитовая), реже средних (пропилитовая, оксатлитовая) стадий развития геосинклинально-складчатых сооружений. Метаморфогенно-метасоматические формации антиклинальных зон подчинены развитию гнейсово-магматитовых комплексов (ГМК) с их полифазальным метаморфизмом.

Особое место в металлогении Уральского складчатого пояса занимают рудоносные метасоматические формации зон тектоно-магматической активизации — автономного эндогенного режима завершающего этапа эволюции геосинклинально-складчатых областей после их стабилизации при переходе в платформу. Тектоно-магматическая активизация уверенно фиксируется в позднепалеозойский — мезозойский этап. Ранняя стадия активизации (поздняя пермь — ранний триас) выразилась в образовании региональных разломов и подновлении древних разрывов в структурно-вещественных комплексах доуралид Центрально-Уральского поднятия и глубоко метаморфизованных комплексах микроконтинентов и срединных массивов эвгеосинклинальной области восточного склона. Она сопровождается развитием щелочного, щелочно-базальтоидного и гранитного магматизма с высокотемпературной редкометальной металлогенией лиофильного и лиофильно-халькофильного профиля. С ней связано развитие щелочных полевошпатовых метасоматитов (Nb , Ta , Zr), аномиаскитовых альбититов (Ta , Nb , TR), карбонатитов (Nb , Ta , TR , Zr , P , флогопит-вермикулит), апогранитных альбититов (Ta , Nb , TR , Th , U), грейзенов (Mo , W , Be , драгоценные камни). Поздняя стадия (средний триас — юра) проявилась в образовании наложенных вулканогенно-молассовых впадин в структурах восточного склона и Зауралья, подновлении разломов складчатого фундамента и комплексов доуралид. С этим периодом коррелируется низкотемпературная гидротермальная минерализация в гидрослюдистых метасоматитах (U , Pb , Va , Cu), сольфатарно-фумарольных аргиллизитах (бентонит) и гидротермальных аргиллизитах (Au , U , Mo , W , F , Hg).

С зонами тектоно-магматической активизации связаны перспективы открытия месторождений новых для Урала промышленных типов золото-аргиллизитовой (в т. ч. джаспероидной), вольфрам-молибденовой штокверково-грейзеновой, уран-молибденовой аргиллизитовой и уран-гидрослюдистой формаций, обнаружения своеобразных для региона редкометально-редкоземельных месторождений в карбонатитах, щелочных полевошпатовых метасоматитах и альбититах, выявления низкотемпературных месторождений берилля, вольфрама, ртути, сурьмы, флюорита, неолитов и др.

Региональная дифференциация рудоносных метасоматических формаций подвижных поясов, их распределение в региональных структу-

рах формируют металлогенические зоны фемического, свало-фемического, фемически-салического и салического профилей.

Метаморфогенные рудоносные метасоматиты докембрийских щитов связаны с процессами палангено-метасоматического (магнезиальные скарны с комплексным оруденением и редкометальные квальмиты) и послегранитизационного (редкометальные и ураноносные щелочные полевошпатовые метасоматиты) породо- и рудообразования в зонах региональных разломов.

Метасоматическая зональность. Закономерные изменения относительно рудных тел и месторождений состава минеральных ассоциаций в ходе рудно-метасоматических процессов позволяют решать прогнозные и поисково-разведочные задачи. Проявление в рудоносных структурах монофациальной, моно- и полиформационной метасоматической зональности, реализуемой в образовании соответствующих ореолов в ареалах, обуславливает развитие локальной, площадной и региональной метасоматической зональности [2].

Локальная зональность известных типов эндогенных месторождений изучена достаточно хорошо. Ведущие типы метасоматитов воспроизведены экспериментально [5]. Они составляют базовую информацию при изучении и раскрытии площадной и региональной зональности.

Площадная зональность проявляется как полиформационная зональность эндогенных месторождений, рудных полей и районов. Ее выявление и изучение осуществляется путем разномасштабного картирования рудоносных площадей (1 : 2000 — 1 : 10000 для месторождений, 1 : 10000 — 1 : 25000 для рудных полей и 1 : 25000 — 1 : 50000 для рудных районов). Зональность месторождений (особенно если она познается через локальную зональность рудных тел) привлекает большее внимание исследователей. Метасоматическая зональность более крупных по площади минерагенических подразделений не стала еще предметом постоянного и пристального изучения. Основными сдерживающими факторами, по-видимому, являются: недостаточная теоретическая проработка вопроса, разногласия в принципах и методических подходах, отсутствие инструктивных документов, определенная трудоемкость работ. Вместе с тем именно этот вид зональности имеет огромное значение в перспективной оценке территорий.

Коллективный опыт уральских геологов позволил сделать первые обобщения по типизации метасоматической зональности рудоносных площадей различных геологических обстановок формирования [2]. В их основу положены результаты изучения метасоматической зональности месторождений и рудных полей колчеданной минерализации (М. Б. Бородаевская, А. И. Кривцов, В. П. Логинов, В. А. Прокин, В. Ф. Рудницкий, А. А. Иванов, А. Г. Злотник-Хоткевич, О. Н. Грязнов, В. И. Чесноков, Л. Я. Берг и др.), медно- и молибденово-медно-порфировой минерализации (Е. И. Костеров, А. К. Тимергазина, Л. Н. Ромашова, А. И. Грабежев, В. А. Елохин, Ю. А. Дворников, О. Н. Грязнов и др.), скарновой (Д. С. Коржинский, В. А. Жариков, А. М. Дымкин, К. В. Подлесский и др.), грейзеновой (Д. В. Рундквист, П. В. Покровский, А. И. Грабежев, О. Н. Грязнов, И. И. Шевкунов, В. А. Елохин, Ю. А. Дворников, Л. Я. Берг и др.), редкометально-редкоземельной (Е. М. Еськова, А. Г. Жабин, Б. М. Роненсон, В. Я. Левин, А. И. Грабежев, О. Н. Грязнов, Ю. А. Дворников и др.) минерализации; месторождений и рудных полей с низкотемпературной урановой (О. Н. Грязнов, В. И. Чесноков, Л. Я. Берг, В. В. Григорьев, А. Б. Макаров и др.), золотой (Н. И. Бородаевский, Р. О. Берзон, В. Н. Сазонов, А. И. Грабежев, О. Н. Грязнов, С. Н. Вахрушев, К. П. Савельева, Д. А. Костромин и др.), медной и полиметаллической (В. В. Григорьев, В. И. Чесноков, В. А. Елохин) минерализации; зональности полигенных рудных

полей и месторождений (О. И. Грязнов, В. И. Чесноков, Л. Я. Берг); зональности рудных и нерудных месторождений гнейсово-метамиттовых комплексов (И. Ф. Романович, К. К. Золоев, В. Б. Болтыров, А. Е. Калякин, В. А. Смирнова, В. Н. Огородников, Е. П. Мельников, О. Н. Грязнов, В. Н. Сазонов, М. Б. Ариштейн, А. И. Грабежев, В. Н. Рябков и др.).

Региональная метасоматическая зональность исследована слабо. Ее изучение практически только начинается. Первые результаты получены при картировании рудоносных метасоматических формаций в масштабе 1 : 200000 Полярно-Уральского мегантиклинария и средней части Восточно-Уральского поднятия. Зональность северного фланга Уральского складчатого пояса рассмотрена в работе [6]. Обобщенная схема региональной метаморфической и магматической зональности в поперечном сечении Среднего Урала имеет вид [1]: симатический (фемический) плутонометаморфизм габбро-гипербазитовых комплексов Платиноносного пояса — зеленокаменный метаморфизм уровня зеленосланцевой фации осадочно-вулканогенных комплексов Тагило-Магнитогорского прогиба и синклиниорных структур II порядка Урало-Тобольской геосинклинали с наложенным зеленосланцевым метаморфизмом — сиалический плутонометаморфизм и гранитоидный плутонизм антиклинальных зон — зеленокаменный метаморфизм уровня зеленосланцевой — пренит-пумпеллитовой фации и начальный метаморфизм цеолитовой фации вулканогенно-осадочных ассоциаций Алапаевско-Теченского мегасинклинария с локальным проявлением зеленосланцевого метаморфизма. Эта картина усложняется наложением сиалического плутонометаморфизма на симатические, зеленокаменные и зеленосланцевые комплексы прибрежных частей синклиниорных структур, линейным развитием дислокационного метаморфизма на уровне фации зеленых сланцев в тектонически напряженных зонах Серовско-Маукского, Пийско-Петрокаменского и Сусанско-Асбестовского глубинных разломов.

С метаморфической и магматической зональностью связана региональная метасоматическая зональность. Метаморфогенно-метасоматической зональности ГМК подчинено размещение рудоносных метасоматических формаций, обусловленных сиалическим плутонометаморфизмом. От гнейсового ядра к сланцевому обрамлению они располагаются в отмеченной в классификации последовательности. Магматогенно-метасоматическая зональность отличается более сложной картиной. Внутренние части антиклинальных зон с гранитоидными плутонами характеризуются развитием полевошпатовых метасоматитов, альбититов, карбонатитов с наложенной аргиллизацией. Границы разломы антиклинальных и синклиниорных структур контролируют распространение грейзеновой, лиственит-березитовой, серпентинитовой и аргиллизитовой формаций. Краевым частям синклиниорных зон свойственно образование уралитовой, пропилитовой и лиственит-березитовой формаций. Внутренние структуры прогибов контролируют развитие пропилитовой, кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов, оксаталитовой, лиственит-березитовой и аргиллизитовой формаций.

На основе анализа региональной метасоматической и метаморфической зональности, металлогенической специализации метасоматических формаций, критерии рудоносности метасоматитов могут быть намечены пути прогнозной оценки территорий на некоторые виды эндогенных полезных ископаемых.

Проявление региональной метасоматической зональности обусловлено закономерной эволюцией в геологической истории региональных структур магматизма, метаморфизма, магматогенно- и метаморфогенно-метасоматических явлений, сменой градиентов Р, Т и С во времени

в пространстве. Метасоматическая зональность региональных структур во многом определяет металлогеническую зональность, хоть ей и не тождественна.

Прикладное значение рудоносных метасоматитов. Гидротермально измененные околоврудные породы уже давно являются надежными поисковыми признаками эндогенных месторождений. Накопленный на сегодня опыт позволяет использовать рудоносные метасоматиты для решения широкого круга прикладных задач [2].

1. Знание положения оруденения в полиформационной (полифациальной) метасоматической зональности, оптимальной последовательности развития (наложения) фаций и формаций в контролирующих структурах для полихронного оруденения промышленного масштаба имеет принципиальное значение в перспективной оценке объектов. Создание эталонных моделей зональности различных типов полигенных и полихронных месторождений — одна из важнейших прогнозно-поисковых задач.

2. Оценка ореолов и ареалов гидротермально измененных «околоврудных» пород при поисках скрытого и слабопроявленного оруденения может быть осуществлена с помощью критериев рудоносности метасоматитов. Значение последних целесообразно ограничить критериями разбрюзговки ореолов метасоматитов на рудные и безрудные. Критерии же непосредственной оценки рудоносных ореолов по масштабу оруденения, глубине залегания рудных тел, эрозионному срезу очерчивают широкий круг самостоятельных вопросов, в своей совокупности определяющих прогнозную оценку рудоносных площадей. Уровень изученности этих вопросов позволяет лишь обозначить некоторые геологические, минералого-петрографические, геохимические и геофизические критерии.

3. Прогнозная оценка рудных районов, полей и месторождений может быть осуществлена: 1) путем непосредственного использования гидротермально-метасоматической зональности без прямого учета других факторов; 2) путем использования рудоносных метасоматических формаций в комплексной методике количественного прогнозирования. При поисках скрытого и слабопроявленного оруденения по гидротермально-метасоматическим признакам целесообразно последовательное решение следующих вопросов: 1) выяснение генетического типа изучаемого объекта; 2) оценка относительной глубины эрозионного среза рудоносных блоков, рудовмещающих структур и рудных тел; 3) оценки масштабов прогнозируемого оруденения. Эти задачи могут быть реализованы путем сопоставления гидротермально-метасоматической зональности испытуемых и эталонных объектов по ряду признаков и критериев [2]. В комплексной методике количественного прогнозирования рудоносные метасоматические формации используются: в качестве поисковых признаков минерализации, критериев классификации рудных формаций, при оценке масштабов рудных объектов, категоризации прогнозных ресурсов и при подсчете прогнозных ресурсов [8].

Дальнейшие исследования по проблеме «Метасоматизм и рудообразование» целесообразно сосредоточить на следующих основных направлениях: 1) унификация понятий и терминов, разработка оптимальной номенклатуры и классификации рудоносных метасоматитов; 2) изучение и систематизация на формационной основе метасоматических пород новых и слабоизученных типов рудных инерудных месторождений, выявление новых видов минерального сырья в метасоматитах; 3) экспериментальное изучение метасоматических колонок всех известных типов рудоносных метасоматитов, условий образования рудосопровождающих метасоматитов; 4) изучение радиологического возраста метасоматитов; 5) выявление оптимальных критериев генетической связи

рудоносных метасоматитов с магматическими комплексами, геологическими типами и фациями метаморфизма; 6) исследование геохимической и металлогенической специализации метасоматических формаций; 7) выявление и изучение критерии рудоносности метасоматитов геолого-промышленных типов месторождений и критерии прогнозирования рудоносных метасоматических формаций; 8) разработка теории и методики прогноза труднооткрываемого оруденения на основе гидротермально-метасоматической зональности рудных районов, полей и месторождений; 9) активное внедрение в практику геологоразведочных работ всех этапов и стадий обязательного составления карт распространения ореолов и ареалов рудоносных метасоматических образований соответствующих масштабов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грязнов О. Н. Схематическая карта распространения рудоносных метасоматических формаций и метаморфизма средней части Восточно-Уральского поднятия. Масштаб 1:200000.— Свердловск: ПГО «Уралгеология», 1989.
2. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов.— М.: Недра, 1992.— 253 с.
3. Грязнов О. Н., Лахович Э. М. Картрирование рудоносных метасоматических образований Урала: Методические рекомендации.— Свердловск: ПГО «Уралгеология», 1989.— 114 с.
4. Жариков В. А., Омельяненко Б. И. Классификация метасоматитов // Метасоматизм и рудообразование.— М.: Наука, 1978.— С. 9—28.
5. Зарайский Г. П. Зональность и условия образования метасоматических пород.— М.: Наука, 1989.— 344 с.
6. Метасоматическая зональность восточного склона Полярного Урала / О. Н. Грязнов, В. И. Чесноков, В. В. Григорьев и др. // Метасоматизм и рудообразование.— М.: Наука, 1984.— С. 198—209.
7. Рудоносность и геологические формации структур земной коры / Под ред. Д. В. Рундквиста.— Л.: Недра, 1981.— 423 с.
8. Эндогенные рудоносные и рудные формации полярного сектора Центрально-Уральского поднятия и перспективы их освоения / О. Н. Грязнов, В. В. Бабенко, В. И. Чесноков и др. // Магматизм и руд. полез. ископаемые Европ. Сев.-Вост. СССР: Тр. 10 Геол. конфер. Коми АССР.— Сыктывкар, 1988.— С. 22—28.

УДК 553.041

В. В. Бабенко

РУДНЫЕ МЕГАОБЛАСТИ И НЕЛИНЕЙНЫЙ ХАРАКТЕР МЕТАЛЛОГЕНИЯ В ГОРНОЙ ЧАСТИ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

Земная кора в пределах горной части Полярного Урала испытала полициклическое развитие. В байкальский тектономагматический цикл здесь имел место эвгесинклинальный цикл (криптоэвгесинклинальный по О. Н. Грязнову и В. А. Душину) [2, 3], возникшие структуры были названы А. М. Мареичевым [4] ранними уралитами. В каледоногерцинский цикл здесь развивался многоэсеклинальный [2, 3] режим, который привел к образованию поздних уралитов [4].

В результате анализа условий размещения рудных полей и районов эндогенной минерализации в горной части Полярного Урала оконтурен (рис. 1) ряд рудных областей. Они приурочены к четырем поперечным геосинклинальным тектоническим блокам. Эти блоки разделены глубинными разломами северо-западного простирания, выделенными В. А. Душином, Г. А. Гревцовым, и хорошо подтверждаются гравиметрическими и магнитометрическими данными, обработанными сотрудниками геофизи-

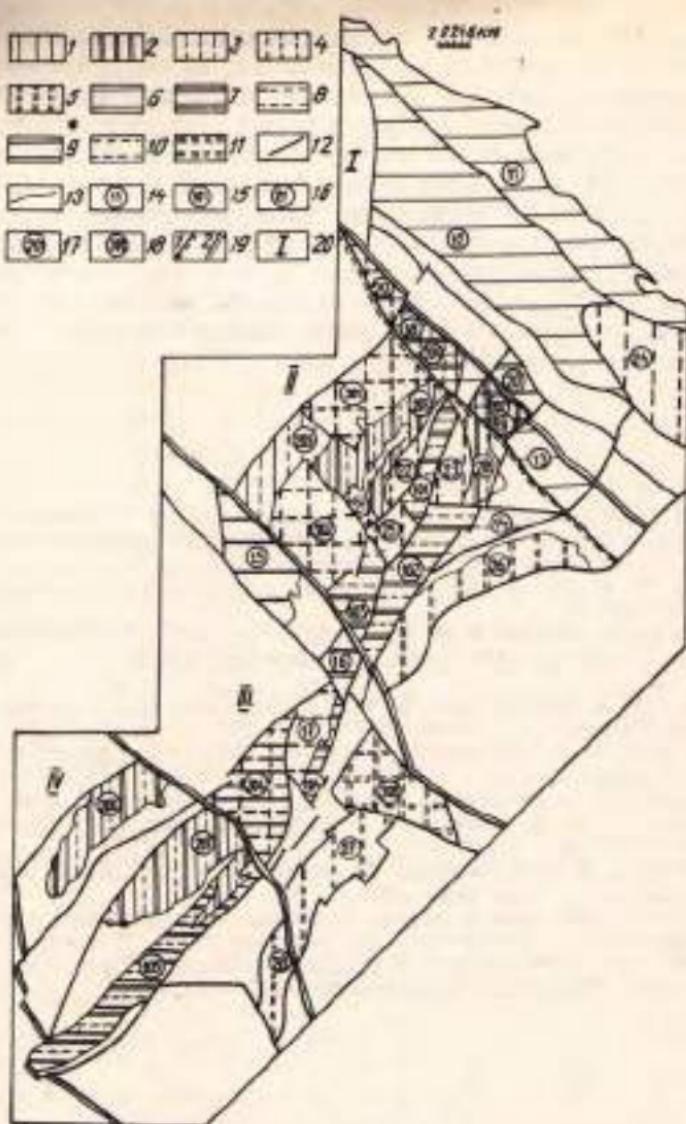


Рис. 1. Прогнозно-металлогеническая схема уралид горной части Поларного Урала:

1—5 — перспективные рудные районы ранних уралид с рудами с полиминами различных рудных формаций: 1 — кварц-серцит-кварцевой холмоданиной; 2 — кварц-серцитовой медно-молибденовой; 3 — лиственикт-березитовой редкометально-полиметаллической; 4 — гравитоновой молибдено-вольфрамовой;

6—11 — перспективные рудные районы поздних уралид с рудами полиминами различных рудных формаций: 6 — лиственикт-березитовой кокичечно-полиметаллической; 7 — лиственикт-березитовой медно-полиметаллической; 8 — лиственикт-березитовой барит-полиметаллической; 9 — формация гидрослюдистых медистых песчаников; 10 — гидрослюдистой редкометально-полиметаллической; 11 — альбитигнейской редкометальной формации; 12 — границы рудных районов, обусловленные разломами II и III порядков; 13 — остальные границы рудных районов;

14—15 — виды рудных районов поздних уралид: 14 — моноформационные, их номера: Прибрежный (11), Паренинский (12), Хутунинский (13), Байдаратский (14), Сауринский (15), Хадатинский (16), Долгоожиданный (17), Себетинский (18), Брусячинский (19), Скалоновый (20); 15 — полиформационные рудные районы поздних уралид, их номера: Саурейский (101), Вайпудинский (102), Изъяхейский (103), Западно-Пайпудинский (104), Падыгинский (105);

16—17 — виды рудных районов ранних уралид: 16 — моноформационные рудные районы, их номера: Нецвикинский (21), Нармояхинский (22), Колибринский (23), Нуизеринский (24), Шульгининский (25), Мазумкузинский (26), Харбейский (27), Собский (28), Минишевский (29); 17 — полиформационные рудные районы, их номера: Лесной-Талыбинский (201), Брусячинский байкальский (202), Кызыгейский (203), Себетинский

ского факультета под руководством Г. И. Гринкевича. Каждый из них имеет двухэтажное строение: нижний, байкальский этаж, энгено-клинальный и верхний, каледоно-герцинский этаж, многоеосинклинальный. В нижних этажах размещаются Байдацкая, Оченырдская, Усанская и Манитанырдская рудные области байкальской металлогенической эпохи, в верхнем — одноименные рудные области каледоно-шапинской металлогенической эпохи.

Байдацкая рудная область ранних уралид включает (см. рис. 1) рудные районы редкометально-полиметаллического типа (24). Она характеризуется преобладанием вулканогенных формаций орогенного комплекса над собственно геосинклинальным (рис. 2). В структурном отношении область представляет собой ступенчатый продольный грабен с рудными районами в крыльях и ядрах антиклиналей. Приурочена эта область к поперечному грабену. Эндогенная минерализация представлена редкометально-полиметаллическим эндогенным комплексом, сопровождающимся лиственит-березитовым комплексом метасоматитов. В пределах области минерализация сконцентрирована в рудных районах, относящихся к моноформационному виду.

Моноформационные рудные районы — это районы, структурно-геологические позиции которых и особенности внутреннего строения, обуславливающие структурно-геологические позиции рудных полей в них, соответствуют условиям размещения рудного формационного комплекса, представленного только одной рудной формацией.

Байдацкая рудная область каледоно-герцинской металлогенической эпохи поздних уралид вмещает (см. рис. 1) колчеданно-полиметаллический эндогенный комплекс, сопровождающийся лиственит-березитовым комплексом метасоматитов, представленный рудными районами колчеданно-полиметаллического типа (11, 12, 13). Эти районы относятся к моноформационному виду. Рудная область сложена (см. рис. 2) собственно геосинклинальным комплексом многоеосинклинального режима. В структурном отношении рудная область представляет собой продольный ступенчатый грабен с рудными районами в ступенчатых блоках. Тектоническая позиция рудной области представляет собой относительно приподнятый блок поперечного асимметричного ступенчатого горста.

Эти рудные области имеют общие границы, занимают единую тектоническую позицию — они приурочены к поперечному грабену, образованному глубинными разломами. Это дает основание поставить вопрос о существовании **Байдацкой рудной мегаобласти** уралид в целом, вмещающей редкометально-полиметаллический рудный эндогенный комплекс. Существование этого комплекса обусловлено рудными районами моноформационного вида с лиственит-березитовым комплексом метасоматитов и автохтонным характером рудообразования.

Автохтонный характер рудообразования выражается в том, что структурно-геологические позиции рудных районов и размещающийся в них рудный формационный комплекс сформировались в результате развития одного эндогенного режима. Такой характер рудообразования обуславливает слоистое размещение рудных районов в разрезе: в нижней части, в ранних уралидах, размещаются рудные районы байкальской металлогенической эпохи, в верхней, в поздних уралидах —

байкальские (204), Оченырдские (205), Елагиневейские (206), Манитанырдские (207);

28 — поликомплексные рудные районы, их номера: Балеевинский (201), Верхнечульбинский (202), Долото-Юсунский (203), Байдакирский (204);

29 — границы; 1 — Байдацкой рудной области поздних уралид;

2 — всех остальных рудных областей и мегаобластей;

30 — рудные области, их номера: Байдакицкая (1), Оченырдская (10), Усанская (11), Манитанырдская (17).

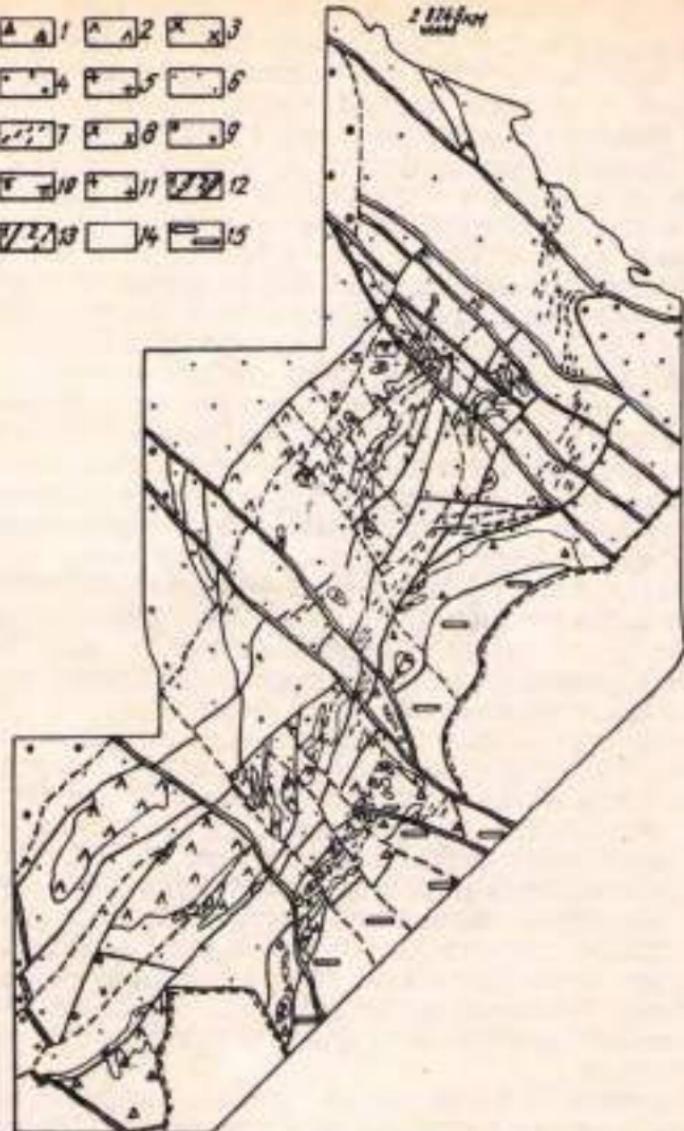


Рис. 2. Структурно-формационная схема уралид горной части Полирного Урала (составлена с использованием материалов О. Н. Грязнова, В. А. Душнина, Г. А. Гречесова и др. сотрудников СНИГЭ УГИ):

1—11 — формационные комплексы геосинклинальных режимов различных тектоно-магматических циклов: 1—5 различных стадий залегания гипогенального байкальского ТМЦ ($E_0 - E_1$) — 1 — рифтовой стадии стратифицированный вулканогенно-осадочный (натровых базальтов и сланцево-гравийных формации); 2—3 — ранне-позднегосинклинальной стадии (R_1) — 2 — стратифицированный осадочно-вулканический (флишондная, натровых базальтов-риолитов, базальт-андезит-диабазовые формации), 3 — секущий плютонический (табброб-диорит-гранодиоритовая формация); 4—5 — орогенная стадия ($V - \sigma$) — стратифицированный вулканогенно-осадочный (базальт-риолитовая, андезит-диабаз-риолитовая, молассовая формации); 6—7 — секущий плютонический (гранит-лейкогранитовая формация); 8—11 — формационный комплекс различных стадий многостадийного эндогенного режима кaledоно-герцинского ТМЦ ($\sigma - PZ_1 - \sigma$) — 6—8 — ранне-позднегосинклинальной стадии ($O_1 - C_1$) — 6 — стратифицированный вулканогенно-осадочный (натровых базальтов-риолитов, терригенная флишевая, терригенно-карбонатная флишевая, карбонатная формации), 7 — тоже переклещенных субвулканических (базальт-риолитовая формации) и гипабиссальных плютонических (табброб-диорит-диабазовая формации) дверей; 8 — секущий плютонический комплекс (табброб-диорит-гранодиоритовая формация); 9—11 — орогенная стадия ($PZ_1 - \sigma$) — 9 — стратифицированный осадочный (молассовая формации), 10 — секущий вулканический (трабхибазальт-трабхириолитовая формации), 11 — секущий плютонический (диаспилитовая формации); 12 — разломы: 1 — I порядка, 2—II порядка; 13 — разломы: 1 — III порядка, 2 — IV порядка, 14 — задогенный комплекс залегания гипогенального режима герцинского ТМЦ Тагило-Магнитогорского прогиба; 15 — эндогенный комплекс платформенного режима ($R_1 - \sigma$).

о-герцинской. В тектоническом отношении блок, вмещающий мегаобласть, является ступенчатой грабен-синклиналью, расположенной в северном окончании Талота-Пайпудынского грабен-синклинона. В результате структура рудной мегаобласти может быть определена как ступенчато-блочная слоистая.

Оченырдская рудная область (см. рис. 1) ранних уралид размещается (см. рис. 2) в комплексе пород, характеризующемся равным разнообразием геосинклинального и орогенного комплексов, преданных вулканогенными составляющими. Она имеет продольное грабеновое строение с вулканическими грядами в горстах и районами в их осевых частях. Приурочена эта область к волнистому горсту эвгесинклиналии. Рудная область вмещает золото-баден-редкометальный эндогенный комплекс, связанный с оксестальным комплексом метасоматитов. Минерализация этого рудного глинного комплекса входит в состав полиформационных рудных районов золото-молибден-медного (201, 202, 203, 204, 205), редкометально-металлического (21, 22, 23, 25, 29) и грейзенового молибден-вольфрамового (26) типов.

Полиформационными являются рудные районы, структурно-геологические позиции которых и особенности внутреннего строения, обусловленные структурно-геологические позиции рудных полей в них, соответствуют условиям размещения нескольких рудных формаций. Рудоносный уровень рудной области имеет автохтонный характер.

Оченырдская рудная область поздних уралид (см. рис. 1) размещается в наиболее приподнятом блоке поперечного и симметричного ступенчатого горста. Она вмещает редкометально-полиметаллический формационный комплекс, сопровождающийся гидрослюдисто-березитовым комплексом метасоматитов. Рудная область представляет собой совокупность моно-, полиформационных и поликомплексных рудных районов. К моноформационному виду относится рудный район барит-полиметаллического типа (14), и полиформационному — полиметаллического (101, 102, 103) типа. Рудные районы этих типов размещаются (см. рис. 2) в осадочном комплексе собственно геосинклинального и многоэосинклинального режима с секущим комплексом этого же уровня на субвулканическом уровне. Они приурочены к ступенчатым склонам на склонах продольного грабена и в ядрах грабен-синклиналей.

Поликомплексными являются рудные районы, структурно-геологические позиции которых и особенности внутреннего строения, обусловленные структурно-геологические позиции рудных полей в них, соответствуют рудным формационным комплексам, сформировавшимся в новые тектономагматические циклы. К этому виду в Оченырдской области относятся рудные районы гидрослюдистого редкометально-полиметаллического типа (301, 302). Рудообразование в рудных районах этого вида имеет аллохтонный характер. Он выражается в том, что вмещающий комплекс рудных районов сформировался при однородном режиме, а возникновение рудогенерирующего формационного комплекса и завершение формирования структурно-тектонической позиции рудных районов происходило в другой, более поздний эндогенный режим. Так, в Оченырдской рудной области рудные районы гидрослюдистого редкометально-полиметаллического типа размещаются в вулканогенном орогенном комплексе байкальской эвгесинклиналии, пересекающем секущий субвулканический орогенный комплекс многоэосинклинального режима. Структура рудной области горст-грабеновая. Поликомплексные рудные районы этой рудной области размещаются в крыльях горст-антеклиналей.

Общая тектоническая позиция байкальской и каледоно-герцинской рудных областей — приуроченность к поперечному горсту, общие гра-

ници, обусловленные глубинными разломами северо-западного пространства, позволяют поставить вопрос о существовании Оченырдской рудной мегаобласти уралид, в состав которой входят одноименные рудные области ранних и поздних уралид. Более того, в пользу существования рудной мегаобласти свидетельствует специфическая внутренняя структура. Эта структура определена как горст-трабеновая слоисто-анкерная. Причины возникновения такой структуры — аллохтон-автохтонный характер рудообразования. Суть такого типа структуры заключается в слоистом расположении рудных районов — рудные районы с минерализацией, принадлежащей байкальскому рудогенезу, размещаются в нижней части разреза уралид, в толщах байкальского структурного этажа, а каледено-герцинского — в верхней части разреза уралид, в толщах каледено-герцинского структурного этажа. Причина такого размещения рудных районов в автохтонном характере рудообразования в этих рудных районах. Однако наряду с автохтонным в этих областях имеет место и рудообразование аллохтонного характера. Интрузивы секущего комплекса пород, с которым связано оруденение, пронизывают толщи двух структурных этажей, соединяя как бы «анкерами» оба слоя в единое целое со слоисто-анкерной структурой. Однако эта структура нарушена тектоникой рудной области: рудные районы, принадлежащие разным слоям, находятся на одном уровне современного эрозионного среза: нижнего слоя — в приподнятом, а верхнего — в опущенном тектонических блоках, что усложняет строение рудной области, придавая ей в целом горст-трабеновую слоисто-анкерную структуру. В целом Оченырдская рудная мегаобласть уралид вмещает поликомплексные рудные районы, минерализация которых входит в состав молибден-медно-редкометально-полиметаллического рудного эндогенного комплекса, сопровождающегося комплексом оксаталит-гидрослюдистых метасоматитов. Усинская рудная область ранних уралид (см. рис. 1) размещается в комплексе пород, характеризующемся преобладанием осадочного собственно геосинклинального комплекса над осадочным прогенным комплексом, с очень слабым проявлением орогенного вулканизма (см. рис. 2). Приурочена область к поперечному грабену звёгосинклинали. В структурном отношении область представляет собой продольный грабен ступенчатого асимметричного строения с нисходящей к оси ступенчатостью. Эта область вмещает минерализацию вольфрам-редкометального эндогенного комплекса, сопровождающегося грэйзен-березитовым комплексом метасоматитов. Рудные районы этой области относятся к моноформационному виду, в состав которого входят рудные районы молибден-вольфрамового (27) и редкометально-полиметаллического (304) типов. Они размещаются в крыльях продольных горст-антеклиналей. Первый в наиболее приподнятых блоках, в которых эрозией выведены на поверхность интрузивы гипабиссального уровня гранит-лейкогранитовой формации, вторые — в относительно опущенных, где эрозией обнажены интрузивы субвулканического уровня. Рудообразование в этой рудной области в целом имеет автохтонный характер.

Усинская рудная область поздних уралид (см. рис. 1) приурочена к относительно опущенному поперечному блоку. Этот блок является асимметричным продольным грабеном. В наиболее приподнятом крыле грабена, являющемся частью Харбейского антиклиниория, обнажен (см. рис. 2) стратифицированный вулканогенно-осадочный формационный комплекс рифтовой стадии развития байкальской звёгосинклинали с многочисленными штоками и дайками секущего комплекса, представленного гранитондами орогенной аляскитовой формации каледено-герцинской многосингенали. Размещаются они в поперечной к этому крылу грабен-синклинали, что и обуславливает нахождение здесь поликомплексного рудного района альбититовой редкометальной минерали-

зации поздних уралид и грейзеновой молибден-вольфрамовой минерализации ранних уралид (303). В относительно опущенном крыле грабена, являющемся частью Малокарского антиклиниория, обнажен зоной вулканогенно-осадочный комплекс орогенной стадии развития байкальской эвгеосинклиналии, содержащей субвуликанические тела трахибазальт-трахирнолитовой [3] формации каледоно-герцинского орогенеза. В этом блоке размещаются моноформационные рудные районы гидрослюдистой редкометально-полиметаллической минерализации (17). Образования байкальского структурного этажа перекрыты стратифицированным осадочным формационным комплексом ранне-поздне-геосинклинальной стадии развития каледоно-герцинской многогеосинклиналии. В целом этот комплекс имеет влево-псамитовый гранулометрический состав и представлен, по данным В. А. Душина, терригенным и терригенно-карбонатным флишем. Комплекс размещается на склонах продольных горст-антиклиналии Малокарского антиклиниория и обрамляющей ее с востока грабен-синклиналии Талота-Пайпудынского грабен-синклиниория. Он прорван субвуликаническими дайками и силлами кислого субщелочного комплекса орогенной стадии развития многогеосинклиналии. В интенсивно деформированных тектонических блоках на склонах продольной горст-антиклиналии, содержащей дайки и силлы секущего комплекса орогенной стадии, размещаются рудные районы гидрослюдистых медистых песчаников (13). В ступенчатом блоке, осложненном складчатостью, на склонах грабен-синклиниория — моноформационный рудный район медно-полиметаллического типа (16). В таком же блоке, осложненном складчатостью и многочисленными разломами, — полифациональный рудный район полиметаллическо-медного типа (104).

Рудная область, таким образом, вмещает рудные районы редкометально-медного рудного эндогенного комплекса, формирование которого связано с орогенным магматизмом. Минерализация рудных районов размещается на трех уровнях глубин становления продуктов магматизма: plutоническом гипабиссальном, субвуликаническом и приповерхностном. При этом, если продукты магматизма размещаются на гипабиссальном уровне в стратифицированном комплексе рифтовой стадии байкальской эвгеосинклиналии, то возникают рудные районы альбитит-редкометального типа, если на субвуликаническом уровне в вулканогенном комплексе ранне-поздне-геосинклинальной стадии байкальской эвгеосинклиналии, то возникают рудные районы гидрослюдистой редкометально-полиметаллической формации, если в приповерхностных условиях, в стратифицированном комплексе ранне-поздне-геосинклинальной стадии многогеосинклиналии, то образуются рудные районы формации гидрослюдистых медистых песчаников.

Сочетание двух последних условий имеет место в Бадьшорском рудном районе (304). Это поликомплексный рудный район. В нем размещается и лиственит-березитовая редкометально-полиметаллическая минерализация ранних уралид. Существование поликомплексных рудных районов, обусловленное альлохтонным характером рудообразования, приводит к возникновению слоисто-анкерной структуры, объединяющей рудные области ранних и поздних уралид в единую рудную Усинскую мегаобласть уралид в целом, вмещающую альбитит-березит-гидрослюдистый вольфрам-редкометально-médный эндогенный комплекс.

Манитанырская рудная область ранних уралид размещается в тектоническом блоке, приуроченном к поперечному горсту. Этот блок сложен собственно геосинклинальным формационным комплексом в его вулканогенной составляющей. В структурном отношении она имеет продольное горст-грабеновое строение с вулканическими грядами в горст-антиклиналях с рудными районами в осевых частях и на склонах

вулканических гряд. Рудная область вмещает золото-молибден-медно-вольфрамовый рудный формационный комплекс, связанный с оксатлит-грейзеновым комплексом метасоматитов.

Манитанырдская рудная область поздних уралид размещается в наименее приподнятом блоке поперечного асимметричного ступенчатого горста. Блок сложен осадочным собственно геосинклинальным комплексом каледоно-герцинской многосинклинали и прорван интрузивами орогенного комплекса субвулканического уровня. В структурном отношении область представляет собой моноклиналь в обрамлении выступов байкальского основания с рудными районами в интенсивно деформированных грабен-синклиналях. В этой рудной области размещается Падъянгинский (105) рудный район, в котором расположено Падъянгинско-Мусюрское месторождение, принадлежащее формации гидрослюдистых медистых песчаников. Однако структурно-геологические условия в этом рудном районе благоприятны для размещения минерализации барит-полиметаллической и медно-полиметаллической формаций, которые пока не обнаружены. Поэтому можно предположить, что в Падъянгинском рудном районе может размещаться полиметаллическо-медный рудный формационный комплекс, а сам район, по-видимому, относится к полиформационному виду полиметаллическо-медного типа. Однако в настоящее время это пока моноформационный рудный район медного типа.

Рудные области ранних и поздних уралид в целом представляют собой Манитанырскую рудную мегаобласть (см. рис. 1). Она характеризуется существованием в ней золото-молибден-медно-вольфрамового рудного эндогенного комплекса, связанного с оксатлит-грейзен-гидрослюдистым комплексом метасоматитов. Рудные районы, входящие в состав рудной мегаобласти, относятся преимущественно к полиформационному типу. Рудная мегаобласть приурочена к поперечному горсту. Ее внутренняя структура имеет горст-грабеновое слоистое строение: рудные районы ранних уралид, нижнего слоя, обнажаются в ядрах горст-антеклиналей, а поздних уралид, верхнего слоя, сохраняются в грабенах. Слоистость структуры рудной мегаобласти сохраняется благодаря автохтонному характеру рудообразования из уровня эндогенных режимов.

Изложенное выше детализирует представления А. М. Ананьевой и др. [1] о влиянии поперечных блоков на металлогению Урала. Геосинклинали Полярного Урала (металлогенические субпровинции по А. М. Меречеву [4]), приурочены к Пай-Хойскому блоку [1]. Структура этих субпровинций представляется не линейной (в геометрическом смысле), а блоковой, обусловленной существованием рудных областей и мегаобластей. Более того, слоисто-анкерные структуры рудных мегаобластей позволяют поставить вопрос о нелинейном (в функциональном смысле) характере металлогении Урала, в понимании А. Д. Щеглова [5].

Металлогеническое районирование, осуществленное без исследования вопроса нелинейности, вызванной альтохтонным характером рудообразования, приводит к чрезмерной генерализации металлогенических построений и не позволяет в полной мере использовать прогнозический аспект металлогении. Изучение характера рудообразования на Урале можно рассматривать в качестве важнейшего направления металлогенических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананьева Е. М., Бугайло В. А., Дорофеев Б. В. и др.—Металлогеническое районирование на Урале по геофизическим данным в связи с особенностями его глубинного строения // Закономерности размещения полезных ископаемых.—М.: Наука, 1978, т. 12.—С. 46—56.

2. Грязнов О. И., Чесноков В. И., Макаров А. Б. и др. Вулканизм, метасоматизм и оруденение горной части Полевого Урала // Геология, поиски и разведка рудных месторождений Урала — Свердловск: Изд. СГИ, 1984.— С. 24—37.

3. Душкин В. А., Грязнов О. И. Вулканизм и металлогенез Полево-Уральского мегантиклинория // Палеовулканические карты и металлогеническая специализация древнего вулканизма Урала — Свердловск: Изд. АН СССР, УНЦ, 1986.— С. 41—49.

4. Маречев А. М., Петров И. А., Льзов Б. К. и др. Металлогеническая эволюция и металлогеническое районирование Урала // Эволюция металлогенеза Урала в процессе формирования земной коры — Свердловск: УрО АН СССР, 1988.— С. 23—36.

5. Щеглов А. Д. Нелинейная металлогенез // ДАН — 1983.— Т. 271, № 6.— С. 1471—1474.

УДК 553.41 + 553.068.5+550.8

А. Г. Баранников

СИСТЕМА «КОРЕННОЙ ИСТОЧНИК — РОССЫПЬ» И ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЙ КОМПЛЕКС

В условиях истощения россыпей и перехода к освоению рудных объектов в пределах рудно-россыпных узлов актуальным является изучение различных аспектов пространственной и генетической связи между отмеченными типами месторождений золота. Их целесообразно рассматривать в рамках системы «коренной источник — россыпь» (КИР) [3, 4]. Исследования, проводимые в рамках системы КИР, преследуют ряд целей. В их числе:

- определение россыпнеобразующих свойств выявленных золотопроявлений на основе изучения особенностей оруденения на уровне современного эрозионного среза;
- обоснование вероятной геологической позиции и формационного типа коренных источников при обобщении материалов по зональности россыпей, их геолого-структурной приуроченности, минералого-geoхимическим особенностям самородного золота;
- прогнозирование россыпей, базирующееся на учете всей совокупности эндогенных и экзогенных факторов золотороссыпнеобразующего процесса.

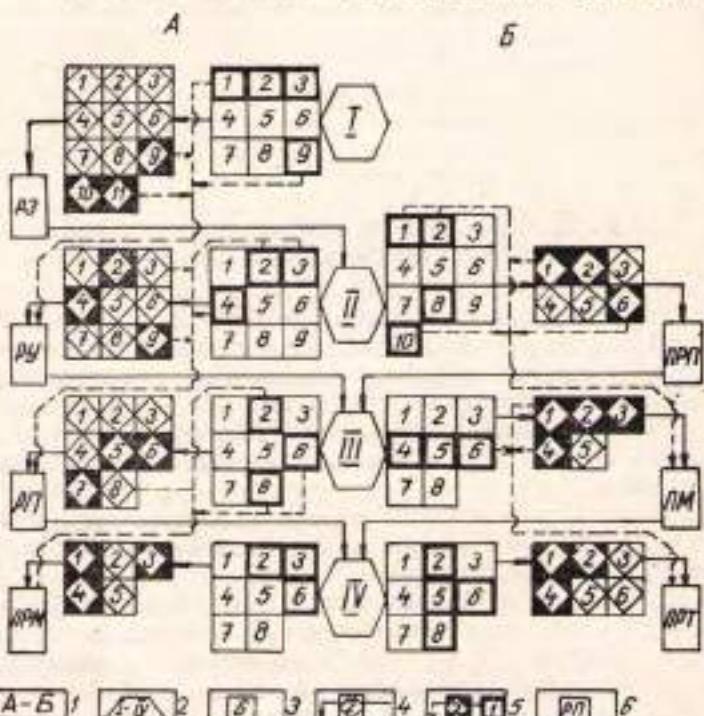
Проведенное автором обобщение материалов многолетних исследований золоторудных объектов и россыпей Южного и Среднего Урала, основывающееся на изучении основных аспектов пространственной и генетической связи между коренными и россыпными месторождениями, позволило теоретически обосновать и разработать ряд критериев и признаков для оценки золото-перспективных площадей. Они отражены в предлагаемом прогнозно-поисковом комплексе (ППК). ППК рассматриваются как высокоэффективные технологические схемы геологоразведочного процесса [1, 2]. Результативность их использования во многом зависит от соблюдения принципа соответствия между стадиями работ и объектами поисков, между объектами и определяющими их признаками, между признаками и выявляющими их методами.

Рекомендуемый ППК имеет «двустороннюю» направленность. С одной стороны, он раскрывает геологические критерии, признаки, виды и методы работ, использование которых целесообразно при прогнозировании и поисках россыпных месторождений; с другой — позволяет опираться на разноплановые сведения по россыпям для прогнозирования эндогенного золотого оруденения, отвечающего рангу россыпнеобразующих рудных формаций (РРФ). Последовательность работ по прогнозу и поискам показана на рисунке.

Полная схема, обосновывающая комплексирование работ на стадии I — региональное геологическое изучение и прогнозно-металлоге-

ническая оценка на россыпи золота в масштабе 1 : 500000 — 1 : 200000, отражена в таблице. Для остальных стадий геологоразведочного процесса прогнозирование россыпей предлагается производить с использованием следующих критериев и признаков (КрП), видов и методов работ (ВМР):

II — общие поиски на россыпное золото при геологосъемочных работах М 1 : 50000; объект поисков — золотороссыпной участок; прогноз-



Блок-схема прогнозно-поискового комплекса (ППК), рекомендуемого при исследовании системы «коренной источник — россыпь»:

1 — прогнозирование: А — россыпных, Б — золоторудных объектов (отвечающих РРФ); 2 — стадии работ: I — региональное геологическое изучение и прогнозно-металлогеническая оценка М 1 : 300 000—1 : 200 000; II — общие поиски при геологосъемочных работах М 1 : 50 000; III — поисковые работы и локальные прогнозирования; IV — поисково-оценочные работы в локальный прогноз; 3 — комплекс видов и методов работ (см. таблицу); 4 — критерии прогнозирования, поисковые признаки (см. таблицу); 5 — виды, методы работ и высоконформативные признаки, позволяющие выполнять прогнозирование по сопряженному варианту; 6 — объекты прогноза: РЗ — золотороссыпная зона (район, залежь); РУ — золотороссыпной участок; РРП — россыпнопроявление; ПРМ — потенциальное россыпное месторождение; ПРП — потенциальное рудное поле; ПМ — потенциальное месторождение (группа месторождений); ПРТ — потенциальное месторождение или его рудные тела.

ные ресурсы кат. Р₂, Р₃. Критерии и признаки (КрП): 1 — участки мезозойских депрессий вблизи областей распространения золотого оруденения, отвечающего РРФ; 2 — участки депрессий, унаследованные зонами рудоконтролирующих разломов (высоконформативный признак — В); 3 — автохтонные шлиховые ореолы и россыпи золота; 4 — зоны развития заполненного карста (В); 5 — линейные коры выветривания в зонах смятия; 6 — линейные локальные аномалии ВЭЗ, СЭП, микрографии; 7 — повышенные содержания в шлихах минералов высокой гипергенической устойчивости; 8 — высылки валунов и окатанной гальки, свидетельствующие о перемыве древнего аллювия; 9 — старательские выработки на россыпное золото (В). Виды и методы работ (ВМР): 1 — состав-

Комплексование работ на стадии «Региональное геологическое изучение и прогнозно-металлогеническая оценка на россыпь золота
М 1 : 500 000 — 1 : 200 000»; объект проптала — золотороссыпные зоны, районы, узлы; прогнозные ресурсы золота Р₃ и Р₂

Критерии прогнозных щенков, показанные признаки (в скобках — номера методов из Программы КОМПЛЕКСА)		Комплекс щенков № методов работ, обеспечивающих решение поставленной задачи
1	2	2
<p>А. Основывающиеся на учете эндогенных факторов ростовообразования:</p> <p>1. Зоны обрамления платонитоморфических комплексов (1, 2, 4, 5).</p> <p>2. Прибрежные части изогенных прогибов и бассейнов их границ с поднятиями; выше шващие зоны (1, 2, 4, 5).</p> <p>3. Области распространения потенциальныхрудогенерирующих формаций (1, 2).</p> <p>4. Зоны активизированной продольной и поперечных глубинных разломов (1, 2, 4, 5).</p> <p>5. Области, пояса развития дасек и местных интрузий, зон надвигнутого прогрева (1, 2, 4).</p> <p>6. Комплексные геохимические профили Аю, Аб, Ак, Си, Рб, Зн, Ви, В = др. (7).</p> <p>7. Признаки, определяющие развитие оруденения золото-хироневых формаций (2, 4, 6).</p> <p>Б. Основывающиеся на учете экзогенных факторов ростовообразования:</p> <p>8. Меловые эрозионно-структурные депресии (2, 3, 4, 5, 6).</p> <p>9*. Области распространения мезо-кайнозойских отложений, продуктивных на золото; приемы промышленной золотоискательности (3, 5, 6, 8, 9).</p> <p>10*. Пол разветвлен карстующихся пород (1, 3, 5, 6).</p> <p>11*. Старательские выработки на россыпь золота (3, 5, 8, 9).</p>	<p>Морфоструктурный анализ</p> <p>1* Структурно-формационный анализ террагенетов, вулканогенных и плутоногенных образований.</p> <p>2* Металлогенический анализ; радиоизотопное размещение золоторудения, отечественного РФ (пропианин — зоны — района — узлы).</p> <p>3* Планетоморфологический анализ (россыпное районирование).</p> <p>4. Интерпретации данных региональных геофизических работ.</p> <p>5. Косм.-аэрофотошуфрирование.</p> <p>6. Анализ данных по шахкам, шахтогеологии.</p> <p>7. Обобщение геохимических материалов М 1 : 200 000.</p> <p>8. Обработка архивных, фондовых материалов по разведке, эксплуатации россыпей.</p> <p>9* Региональные маркеры, сопровождающие отработанным титаном и россыпное золото.</p>	

Примечание. В таблице звездочной обозначены зоныера щенков, методов работ, в такие исключаются нестабильные зоныера щенков, методов работ и поиски по сокращенному варианту.
П. 1*, 2*, 3* рассматриваются в рамках морфоструктурного анализа.

ление палеогеоморфологических карт (схем); 2 — изучение стратиграфии, литологии рыхлых отложений, неотектоники (В); 3 — космо-аэрофото-дешинфирирование (В); 4 — площадное шлиховое опробование, шлихово-геохимия (В); 5 — геофизические исследования (ВЭЗ, СЭП и др.); 6 — минерало-геохимическое изучение известных золотопроявлений; 7 — проходка опорных профилей скважин, их изучение и опробование; 8 — отетройка карт палеорельефа, плотика палеодолин; 9 — изучение шлихового золота.

III — поисковые работы и локальное прогнозирование на россыпное золото; объект поисков — россыпепроявления; прогнозные ресурсы кат. Р₂, Р₃, иногда Р₁, КрП: 1 — фрагменты депрессий, палеодолин, насыщенные коренными источниками, отвечающими РРФ; 2 — геохимические аномалии элементов-спутников золота (Ag, As, Cu, Pb, Zn, Bi, Te и др.); 3 — линейные коры выветривания по орудиевым зонам; 4 — находки в рыхлых отложениях гальки (обломков) минерализованных пород; 5 — присутствие русловых фаций аллювия (В); 6 — участки локального заполненного карста (В); 7 — повышенное содержание шлихового золота в базальных горизонтах рыхлых отложений (В); 8 — присутствие гипергенно-преобразованного и новообразованного золота. ВМР: 1 — геолого-геоморфологическое картирование на инструментальной основе с проходкой горных выработок; 2 — бурение поисковых колонковых скважин, опробование, литолого-стратиграфическое изучение разреза (В); 3 — прослеживание палеотальвегов и иных элементов палеодолин по геофизическим данным; 4 — составление карт палеорельефа плотика; 5 — минерало-геохимическое изучение пород плотика; 6 — детальное исследование шлихового золота, сопровождаемое составлением специализированных карт (В); 7 — изучение минсостава шлихов; 8 — предварительное технологическое изучение золотоносных отложений (В).

IV — поисково-оценочные работы и локальный прогноз на россыпное золото; объект прогноза — потенциальное месторождение; запасы кат. С₂, прогнозные ресурсы кат. Р₁, КрП: 1 — выявленные пространственно-прослеженные области устойчивой концентрации шлихового золота в пределах однородных структурно-геоморфологических элементов палеодолин (В); 2 — установленные системы рудовмещающих и рудо-контролирующих эндогенное золотое орудиение элементов; 3 — устойчивая приуроченность россыпных концентраций к отдельным литолого-стратиграфическим горизонтам (В); 4 — установленные параметры золотоносности рыхлых толщ, позволяющие произвести предварительную оценку запасов кат. С₂ и прогнозных ресурсов кат. Р₁ (В); 5 — изученные особенности размерности, формы золотин в разновозрастных отложениях. ВМР: 1 — геолого-геоморфологическое картирование М 1 : 5000—1 : 2000 на инструментальной основе; 2 — вскрытие, прослеживание продуктивных горизонтов системой выработок, обеспечивающих обоснование запасов кат. С₂ и прогнозных ресурсов кат. Р₁; 3 — опробование керна скважин, составление литолого-фаунистических карт продуктивных горизонтов (В); 4 — изучение формы, крупности, состава шлихового золота (для отдельных стратиграфических горизонтов); 5 — детализационные работы методами электроразведки; 6 — изучение технологических свойств продуктивных отложений (В); 7 — составление специализированных карт золотоносности (распределение металла по крупности, составу); 8 — оценка формационной природы, проитипа выявленных золотопроявлений.

В предложенной блок-схеме ППК (см. рисунок) предусматриваются и сокращенные варианты ведения работ, значительно ускоряющие достижение поставленной цели. Их реализация обеспечивается за счет использования в технологии поисков ряда высоконформативных поисковых признаков и эффективных методов, позволяющих уже на ран-

них стадиях выявлять объекты более поздних этапов работы. В ППК предложено несколько вариантов.

1 вариант отвечает стадии регионального изучения площадей ($M 1:500000 - 1:200000$), когда в комплекс рекомендуемых методов входят: структурно-формационный анализ терригенных, вулканогенных и плутоногенных образований (№ 1 — соответствует номеру в таблице); металлогенический анализ и районирование золотооруденения (№ 2); палеогеоморфологический анализ и россыпное районирование (№ 3). Используя такие высокинформативные признаки, как поля развития карстующихся пород (№ 10), выявленные старательские выработки из россыпного золота (№ 11), можно уже на рассматриваемой стадии прогнозировать позиции золотороссыпных участков. 2 вариант предусматривается на стадии общих поисков при геологосъемочных работах $M 1:50000$. На основе комплекса методов (№ 2—3—4, см. рисунок) и с учетом ряда критерий и признаков (№ 2—4—9) появляется возможность сразу же перейти к следующей стадии (поисково-оценочным работам). По аналогии с вышеописанным 3 вариант позволяет сразу же перейти, минуя поисково-оценочную стадию, к обоснованию позиции золотороссыпного месторождения. Этот сокращенный вариант должен опираться на комплекс методов (№ 2—6—8) и поисковых признаков (№ 5—6—7).

Всегда при прогнозировании важен также и учет отрицательных критериев. Так, на стадии регионального геологического изучения к таковым следует отнести: участки мезозойских депрессий с «камагматической» обстановкой, а также лишенных коренных источников, отвечающих РРФ; зоны масштабного абразионного размыва континентальных отложений; на стадии общих поисков: локальные неотектонические поднятия, вызвавшие размыв дренинга аллювия; участки распространения в депрессиях озерно-аллювальных и дельтовых фаций отложений.

Применение ППК с использованием данных по россыпной золотоносности для прогнозирования эндогенного золотооруденения, отвечающего рангу РРФ, наиболее целесообразно начинать со стадии общих поисков при геологической съемке $M 1:50000$. При более мелком масштабе многие особенности и детали строения россыпей исчезают, что приводят к существенной потере информации. Предлагаемые критерии и признаки во многом повторяют уже ранее рассмотренные, что указывает на необходимость их использования в обеих «ветвях» ППК. Некоторые методы упоминаются в комплексах для разных стадий. Однако необходимо учитывать, что их реализация возможна с различной степенью детальности, вскрывающей разноуровневое строение исследуемых объектов. В то же время ввиду возможной корректировки в будущем использование в составе ППК сокращенных вариантов пока не предусмотрено.

На стадии II — общие поиски при геологосъемочных работах $M 1:50000$ — объектом прогноза является потенциальное рудное поле с подсчетом прогнозных ресурсов кат. Р₂ КрП: 1 — пространственная совмещенность линейно-вытянутых россыпей с разрывными нарушениями (В); 2 — выявленные «структурно-трассируемые» зоны пространственного размещения самородков золота (В); 3 — кусты распространения россыпей ближнего сноса; 4 — локальные шлиховые ореолы, выделенные на основе рассчитанных граничных значений гидравлической крупности зерен металла; 5 — находки в обломочном материале россыпей жильного кварца с видимым золотом; 6 — локальные участки с аномально высокими значениями удельной россыпной продуктивности (В). ВМР: 1 — структурно-формационный анализ в пределах рудно-россыпных узлов (В); 2 — систематика золотопроявлений, выделение и обоснование

РРФ (В); 3 — исследование уровня денудационного снижения минерализованных пород в отдельных блоках; 4 — интерпретация данных площадных геофизических работ; 5 — космо-аэрофотодифференцирование; 6 — анализ материалов геохимических работ; 7 — опробование выявленных рудных выходов; 8 — площадная шлиховая съемка (В); 9 — шлихогеохимия; 10 — обобщение данных по продуктивности россыпей.

III — поисковые работы и локальное прогнозирование на рудное золото с использованием данных по россыпной золотоносности; объект прогноза — потенциальное месторождение (группа месторождений); прогнозные ресурсы кат. Р₂ и Р₁, КрП: 1 — обоснованная зональность в строении россыпей (В); 2 — выявленные участки (зоны) возможного поступления рудного золота в россыпь из коренного источника (В); 3 — обоснованная унаследованность россыпью «азонального» строения линейных минерализованных пород (В); 4 — доказанное присутствие в россыпях шлихового золота различных диапазонов пробности (В); 5 — выявленный эффект многократного перемыза и трансформации россыпи. ВМР: 1 — геолого-геоморфологическое картирование на инструментальной основе М 1 : 25000 — 1 : 10000; 2 — высокоточные геофизические методы (магнито-, грави-, электроразведка); 3 — литохимические поиски по вторичным, первичным ореолам; 4 — детальная шлиховая съемка, шлихогеохимия (В); 5 — вскрытие, прослеживание потенциальных рудных зон редкой сетью выработок, их опробование (В); 6 — минералого-геохимическое изучение минерализованных пород (В); 7 — оценка россыпнообразующего потенциала вскрытого золотооруденения; 8 — пространственный анализ изменчивости параметров шлихового золота.

IV — поисково-оценочные работы и локальное прогнозирование на рудное золото с использованием данных по россыпной золотоносности; объект прогноза — потенциальное месторождение (или отдельные рудоносные зоны); запасы кат. С₂, прогнозные ресурсы кат. Р₁, КрП: 1 — выявленные локальные участки механически слабообработанного золота, отвечающие местам «подпитки» (В); 2 — обнаруженные зоны смятия, рассланцевания, унаследованные линейными корами выветривания (В); 3 — области развития пород, благоприятных для локализации золотооруденения; 4 — обнаруженные окисленные выходы рудных зон (В); 5 — находки обломков рудоносного кварца; 6 — локальные комплексные геохимические аномалии. ВМР: 1 — детальное геолого-геоморфологическое картирование на инструментальной основе в М 1 : 10000 — 1 : 25000; 2 — вскрытие, прослеживание выявленных рудоносных зон (рудных тел) горными выработками, единичными скважинами (В); 3 — литохимическое опробование; 4 — высокоточные геофизические методы; 5 — минералого-геохимическое изучение минерализованных пород (В); 6 — составление комплекса специализированных карт, основывающихся на изучении самородного золота россыпей (В); 7 — составление карт россыпной продуктивности; 8 — малообъемное технологическое опробование оруденелых пород (В).

Эффективность предлагаемого ППК апробирована материалами по геолого-геоморфологическому картированию основных золотоносных районов региона, специализированному изучению отдельных рудно-россыпных узлов и нашла отражение в разработке рекомендаций по россыпному и рудному золоту.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кривцов А. И., Нарсеев В. А. Геологоразведочный процесс и прогнозно-поисковые комплексы // Советская геология. — 1983. — № 1. — С. 17—27.
2. Кривцов А. И., Водчиков А. Г., Мигачев И. Ф. и др. Система «прогноз — поиски —

шника для месторождений цветных металлов // Советская геология. — 1985. — № 11. — С. 14—19.

3. Трушков Ю. И. Эволюция и механизм образования россыпей как проекций нарушенных коренных источников на тальверги долин // Повсюда и опыт реконструкции древних источников золота по разведанным россыпям. — Якутск, изд. ЯФ СО АН СССР, 1975. — С. 11—28.

4. Трушков Ю. И., Избеков Э. Д. Эволюция россыпей // Минеральные месторождения. — М.: Наука, 1976. — С. 147—155.

УДК 553.43 : 550.84

Л. М. Петруха

РУДНЫЕ СТОЛБЫ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рудное вещество в залежах месторождений распределено неравномерно, о чем отмечали Б. Котта [21], Р. Бек [20], В. Линдгрен [22], П. К. Каллистов [5] и др. Но кроме периодичности изменения содержания полезных компонентов, В. Ф. Мягковым [7] выявлена уровненность строения геохимических полей. Уровненное строение геохимических полей меди, цинка и серы установлено в рудных телах медноколчеданных месторождений Урала и Кавказа автором [12]. Анализ строения геохимических полей меди, цинка и серы позволил выявить, что медноколчеданные залежи представляют собой совокупность рудных столбов этих полезных компонентов различных порядков и определенных размеров, закономерно расположенных в их пределах.

Полученный результат основан на обобщении и анализе данных разведочных и эксплуатационных работ по рудным телам двадцати промышленных месторождений — Красногвардейского, имени III Интернационала, Левиха XIII, Сафьяновского, Дегтярского, Южного, Учалинского, имени XIX партъезда, Узельгинского, Талганского, Чебачьего, Молодежного, Сибайского, Октябрьского, Подольского, Юбилейного, Комсомольского, Джусинского, Гайского, Урупского с применением геометростатистического моделирования [7].

Изучение геологического строения медноколчеданных месторождений проводилось многими исследователями [2, 4, 13, 14, 15, 16 и др.]. Изучение уровненного строения геохимических полей меди, цинка и серы и их изменчивости проводилось по профилям — сечениям рудных тел, ориентированным по простиранию и падению залежей. Праведенные результаты исследований основаны на изучении десятков пересечений каждого рудного тела с использованием многих тысяч химических анализов на медь, цинк и серу. Общая длина изученных профилей составила более 150 000 м.

Обработка данных заключалась в построении одномерных графиков изменения содержаний меди, цинка и серы в системе координат: содержание полезного компонента — расстояние, в выравнивании исходных данных с помощью интерполяционного полинома, оценке уровненного строения, расчете частотных характеристик — радиусов геометрической автокорреляции, амплитудных характеристик — среднеквадратической амплитуды, а также таких характеристик, как средняя величина, среднеквадратическое отклонение, остаточная дисперсия, погрешность аппроксимации [7]. Вычисления выполнялись на ЭВМ ЕС-1022 в вычислительном центре Уральского горного института по специально разработанной программе.

Уровненное строение определялось в восходящем порядке последовательным осреднением самого высокочастотного уровня изменчивости регулярной компоненты. Уровень среднего принимался за нулевой уро-

вень. Относительно него выделялись последующие уровни строения геохимических полей. Периодичность изменения содержаний полезных компонентов на каждом структурном уровне отличается частотными и амплитудными характеристиками.

В результате исследований выявлено уровневое строение геохимических полей рудных тел медноколчеданных месторождений. Выделены:

Средние значения частотных (R_q) характеристик содержаний полезных компонентов для разных уровней геохимических полей медноколчеданных месторождений

Компонент	Общая длина профилей, м	Количество точек наблюдений	По простиранию			По падению		
			R_{q_1}	R_{q_2}	R_{q_3}	R_{q_1}	R_{q_2}	R_{q_3}
<i>Гайское месторождение</i>								
Медь	26766	4500	83	43	11	88	44	14
Цинк			91	44	10	88	44	14
Сера			135	54	14	88	44	17
<i>Сибайское месторождение</i>								
Медь	11274	4269	77	34	5	86	43	10
Цинк			77	39	5	86	43	10
Сера			82	40	5	102	51	10
<i>Южное месторождение</i>								
Медь	11917	2880	114	43	11	95	40	—
Цинк			120	52	11	95	40	—
Сера			103	49	12	95	40	—
<i>Месторождение имени XIX партсвeta</i>								
Медь	5894	1124	55	25	9	50	25	9
Цинк			55	28	12	50	25	12

Примечание. R_{q_1} , R_{q_2} , R_{q_3} — радиусы геометрической автокорреляции (м) соответственно для каждого структурного уровня геохимических полей.

ются периоды изменения содержаний полезных компонентов нескольких порядков — уровни изменчивости. В строении геохимических полей меди, цинка и серы установлено два-три структурных уровня. Причины уровневого строения геохимических полей необходимо связывать как с геологической обстановкой, способствующей отложению рудного вещества из рудоносных растворов, так и с особенностями рудообразующего процесса. Рассмотрим особенности строения геохимических полей меди, цинка и серы на различных структурных уровнях.

Периодичность в строении геохимических полей рудных тел определена чередованием участков богатых руд, разделенных участками бедных руд. Участки богатых руд обычно называют рудными столбами [19]. В свете уровневого строения геохимических полей можно говорить о рудных столбах различных порядков или уровней.

На первом структурном уровне изменчивости максимальные содержания серы отмечаются в центральных частях залежей, цинка на периферии, медь занимает промежуточное положение.

На втором структурном уровне в залежах по простиранию и падению выделяются серии крупных максимумов содержаний меди, цинка и серы (рудных столбов I порядка). Определены их размеры в плоскости рудных тел. Они равны удвоенному значению частотной характеристики изменчивости (радиуса геометрической автокорреляции) или длине полуволны на графиках изменения регулярной компоненты поля (см. таблицу). Исходя из этого, размеры рудных столбов в поперечни-

ке на этом структурном уровне колеблются в пределах от 50 до 120 м. Меньшей изменчивостью характеризуется геохимическое поле серы, и размеры рудных столбов этого компонента достигают 110—120 м. Изменчивость меди и цинка примерно сопоставима и более высокая, чем серы. Размеры рудных столбов этих компонентов составляют 50—90 м. Исходя из того, что частотные характеристики геохимических полей меди, цинка и серы по простиранию и по падению залежей близки между собой, форма рудных столбов в плоскости рудных тел изометрическая. Исходя из пространственных соотношений геохимических полей меди, цинка и серы на этом структурном уровне, они дискордантные. Но на некоторых месторождениях геохимические поля металлов конкордантные — положительно согласованные. Графики изменения регулярной компоненты полей на одних и тех же сечениях рудных тел имеют одинаковый вид. Это отмечается на Гайском месторождении (залежь 5), имени XIX партъезда (залежь Восточная), на отдельных сечениях Дегтярского месторождения. Отсюда следует, что рудные столбы меди, цинка и серы в плоскости рудных тел в основном не совпадают между собой, что может свидетельствовать о разновременности их формирования.

Как отмечалось выше, отклонения содержаний полезных компонентов от среднего значения определяются среднеквадратической амплитудой. Содержания полезных компонентов в рудных столбах значительно выше разделяющих их участков бедных руд, имеющих примерно такие же размеры. Так, содержание меди в рудных столбах выше в 3—52 раза, цинка в 7—119 раз, серы на 9—23 %. Менее контрастны рудные столбы на месторождениях с рядовыми по качеству рудами и более контрастны на месторождениях с рудами высокого качества.

На третьем структурном уровне как в пределах рудных столбов I порядка, так и на участках разделяющих их бедных руд выделяются изометрические в плоскости залежей рудные столбы II порядка. Размеры их в попечнике 10—35 м.

Таким образом, установление уровенного строения геохимических полей меди, цинка и серы медноколчеданных месторождений, его анализ позволили выявить сложное внутреннее строение колчеданных залежей. Они состоят из серии рудных столбов различных порядков, закономерно расположенных в их пределах. Определены их форма в плоскости рудных тел, размеры и амплитудные характеристики.

Установленные закономерности строения колчеданных залежей соответствуют результатам изучения гидротермального сульфидного оруденения в океанах. Так, по данным И. С. Грамберг и др. [3], скопления океанических сульфидных руд в пределах Восточно-Тихоокеанского поднятия объединяют десятки — первые сотни небольших холмообразных рудных построек. Возможно эти холмы и являются теми самыми рудными столбами, которые составляют колчеданные залежи. А расположение холмов и рудных столбов определяется рисунком разрывных нарушений — путей движения рудообразующих растворов. Это подтверждается на многих изученных месторождениях.

На Дегтярском месторождении проведено геолого-структурное дешифрирование плана изомощностей рудного тела и вмещающих пород и построена схема палеореконструкций условий его формирования. В результате установлено, что рудное тело месторождения формировалось в депрессионной структуре, форма и другие структурные особенности которой указывают на ее вулканогенное происхождение. Из анализа отмеченных структур вытекает, что первичное местоположение вулканического аппарата (кальдеры), вмещающего рудное тело, определялось узлом пересечения двух систем разломов — субмеридионального (уральского) и субширотного простирания. Внутренняя струк-

тура рудовмещающей кальдеры определялась также системами диагональных (радиальных) и концентрических разломов, формирование которых причинно связано с развитием самой вулканоструктуры. Полученные данные увязываются с развитием на площади месторождения различных геологических образований, а также с закономерностями распределения в залежи серы, меди и цинка. Структура геохимического поля серы обусловлена наиболее ранними продольными и поперечными разломами. Концентрическая зональность в распределении меди и цинка на первом структурном уровне, обусловленная элементами палеокальдеры, в частности, кольцеобразными разломами, усложнена линейными элементами — диагональными разломами. К местам пересечения разломов различных направлений приурочены рудные столбы второго структурного уровня. На третьем уровне зоны разрывных нарушений также контролируют качество руд, что выражается в формировании рудных столбов второго порядка.

На Учалинском месторождении рудные столбы второго структурного уровня, сложенные медными и цинковыми рудами, обусловлены разрывными тектоническими нарушениями, залеченными крупными дайками габбро-порфиритов. По-видимому, эти разломы были долгоживущими, являлись рудоподводящими, а после того как сформировалось рудное тело, разломы подновились, пересекли рудную залежь и были залечены дайками.

Рудные тела Сибайского и Гайского месторождений также тектонически нарушенные. Многие тектонические разрывные нарушения залечены маломощными дайками. Особенно много даек основного состава отмечается в пятой залежи Гайского месторождения. Анализ строения геохимических полей меди, цинка и серы в местах пересечения их разрывными нарушениями показывает следующее. В большинстве случаев в местах пересечения рудных тел дайками основного состава, расстояния между которыми составляют от 7 до 15 м, содержание меди и цинка снижается как на втором, так и на третьем структурных уровнях в два-три раза. То же самое отмечается в местах расположения неминерализованных тектонических разрывных нарушений. На содержание серы, за исключением отдельных случаев, дайки заметного влияния не оказывают. Таким образом, рудные столбы формируются не только за счет приноса металлов рудообразующими растворами, а и за счет их выноса. Тектонические и магматические процессы приводят к разубоживанию руды в участках рудных тел, прилегающих к разрывным нарушениям.

Роль разрывных нарушений в распределении полезных компонентов в рудных телах, кроме приуроченности к ним экстремальных значений содержаний меди и цинка, подтверждается также устойчивостью частотных характеристик геохимических полей на одних и тех же структурных уровнях в разных частях залежей одного месторождения, а также на разных месторождениях. Последнее обусловлено закономерностями распределения зон трещиноватости в массивах горных пород. Известно, что в лавовых потоках отчетливо проявляется столбчатая отдельность. Геометрические черты столбчатой отдельности объясняют образованием трещин при растягивающем напряжении в процессе охлаждения затвердевшей, но еще горячей породы до нормальной температуры. В результате сокращения горных пород возникают трещины, образующие шестигранники [18]. Эти закономерности в размещении трещин — путей движения рудообразующих растворов — определили размещение рудных столбов, слагающих колчеданные залежи.

Из особенностей рудообразующего процесса важнейшим является стадийность накопления сульфидов и прерывистость процесса, а также преобразование руд в результате метаморфизма.

Считается, что накопление сульфидов железа, меди и цинка происходило в различные стадии, отделенные перерывами, во время которых минеральные массы ранних стадий могли претерпевать метаморфизм, тектонические деформации и т. д. [17]. В раннюю стадию образовались сульфиды железа из гидротермальных растворов в форме марказита, пирита и пирротина. В среднюю имело место повышение химической активности серы и появление в растворе меди, следствием чего было формирование халькопирит-пиритовых руд. В позднюю стадию в растворе появляется цинк и формировались цинковые руды.

Отмеченная стадийность обусловила появление вертикальной зональности в распределении основных полезных компонентов в направлении от лежачего к висячemu боку рудных залежей: сера — медь — цинк. Стадийность рудообразования отчетливо подтверждается этажным размещением рудных тел с различными типами руд (Гайское, Южное и другие месторождения).

Стадийность, приведшая к формированию вертикальной зональности, определила структуру геохимических полей серы, меди и цинка на первом структурном уровне. Так, если рассматривать распределение меди, то минимальное ее содержание отмечается в лежачем боку залежей, соответствующем ранней стадии рудообразования, и в висячем боку, сформировавшемся в третью, позднюю, стадию образования рудных тел. Максимальное содержание меди фиксируется в центральных частях рудных тел, сформировавшихся в среднюю стадию.

В связи со стадийностью рудообразования проявлено также латеральная зональность в распределении серы, меди и цинка в рудных телах [6, 10, 15]. В целом максимальные содержания серы приурочены к центральным, наиболее мощным частям рудных тел, цинка к периферийным, наименее мощным частям залежей. Медь занимает промежуточное положение. Отмеченная геохимическая зональность в рудных телах колчеданных месторождений отражает строение геохимических полей серы, меди и цинка на первом структурном уровне и является первичной.

Стадийность рудообразования на колчеданных месторождениях подтверждается также присутствием в рудах залежей сульфидов железа, меди и цинка нескольких генераций, что отмечается как на многих уральских месторождениях [9, 13, 14], так и на зарубежных [1]. По абсолютному возрасту околоврудных пород колчеданных месторождений выделяются три этапа оруденения [8]. Эти особенности формирования залежей нашли отражение на втором структурном уровне.

Последующие процессы привели к некоторому перераспределению вещества рудных тел, нарушению сплошности залежей разрывной тектоникой, заливанию разрывных нарушениймагмой (формирование даек) или продуктами гидротермальной деятельности (кварцем, пиритом, халькопиритом, сфалеритом). На высокочастотных уровнях находит отражение ритмично-полосчатое строение колчеданных залежей в пределах отложений каждой стадии. Оно обусловлено чередованием ритмов, сложенных одними и теми же минеральными ассоциациями — существенно пиритовой, халькопирит-пиритовой со сфалеритом и сфалерит-пиритовой. Полосчатость часто не выдержана, отмечаются будины, выполненные одним из минералов руд. Преобладание в ритмах одного из трех минералов приводит к формированию соответствующего состава рудных столбов на высококачественных уровнях. На этом же уровне на структуру геохимических полей главных химических компонентов колчеданных месторождений оказало влияние также преобразование руд в результате регионального и гидротермального метаморфизма [4, 16].

Таким образом, уровневое строение геохимических полей меди,

цинка и серы отражает всю историю формирования колчеданных месторождений и носит объективный характер. Оно обусловлено сложным строением залежей, состоящих из рудных столбов серы, меди и цинка разных порядков. Расшифровка структур геохимических полей дает возможность решать генетические вопросы, а также имеет практическое значение. Это выявление закономерностей в строении геохимических полей, прогнозирование на основании этого качества руды в пределах залежей, определение рациональных параметров разведочной сети [11].

ВЫВОДЫ

1. Геохимические поля меди, цинка и серы медноколчеданных месторождений характеризуются уровенным строением. Выделяются до трех структурных уровней геохимических полей, отличающихся частотными и амплитудными характеристиками. Это позволяет рассматривать колчеданные залежи как совокупность рудных столбов меди, цинка и серы различных порядков и определенных размеров, закономерно расположенных в их пределах.

2. Форма рудных столбов в плоскости рудных тел изометрическая. Размеры в плоскости залежей в соответствии с частотными характеристиками рудных столбов I порядка 50—120 м, II порядка 10—35 м. Содержание меди в рудных столбах выше, чем на участках разделяющих их бедных руд в 3—52 раза, цинка в 7—119 раз, серы на 9—23 %.

3. Уровенное строение геохимических полей определено геологическими факторами, в частности, закономерным распределением разрывных нарушений — путей движения гидротермальных растворов и особенностями рудообразующего процесса — стадийностью накопления сульфидов железа, меди и цинка, пульсационно-прерывистым характером рудообразования, а также последующими метаморфическими преобразованиями руд. Носит объективный характер и отражает внутреннее строение колчеданных залежей.

4. Полученные результаты дают новое качественное представление о строении рудных тел месторождений этой генетической группы, будут способствовать более глубокому решению некоторых генетических вопросов, позволят совершенствовать системы разведки месторождений, прогнозировать качество полезных ископаемых в пределах залежей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданова Е. И. и др. Колчеданные месторождения зарубежных стран — М.: Наука, 1984.—216 с.
2. Бородавская М. Б., Горжеевский Д. И., Крицков А. И. Колчеданные месторождения мира — М.: Недра, 1979.—284 с.
3. Грамберг И. С., Краснов С. Г., Айнемер А. И. и др. Гидротермальное сульфидное оруденение в окисле // Сов. геология. — 1990. — № 12. — С. 81—91.
4. Заваринский А. Н. Избранные труды. Т. 1.—М.: АН СССР, 1956.—702 с.
5. Каланитов П. Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке в озроблении // Сов. геология, 1956. Сб. 53.— С. 118—151.
6. Крицков А. И., Шишаков В. Б. Распределение меди и цинка в колчеданных месторождениях Урала // Геология рудных месторождений. — 1980. — Т. XXII, № 4.— С. 57—70.
7. Мягков В. Ф. Структурная геометро-статистическая модель строения геологических полей и методика решения геологоразведочных задач // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1984. — № 3. — С. 44—58.
8. Овчинников Л. Н., Лутков Р. И. Геохимические типы и зональность колчеданного оруденения Урала.— М.: Наука, 1983.—180 с.
9. Петровская Н. В. О полосчатых текстурах руд Гайского и некоторых других медноколчеданных месторождений Южного Урала // Тр. ЦНИГРИ.— М., 1963, вып. 52.— С. 23—64.

10. Петруха Л. М. Закономерности распределения полезных компонентов в рудных телах медноколчеданных месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. — 1991. — № 7. — С. 11—14.
11. Петруха Л. М. Обоснование систем разведки медноколчеданных месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. — 1991. — № 9. — С. 19—23.
12. Петруха Л. М. Уровневое строение морфометрических и геохимических полей полезных тел медноколчеданных месторождений // Геологическая синергетика. — Алматы: Мингео СССР, 1991. — С. 64—65.
13. Прокин В. А., Нечеухин В. М., Сопко П. Ф. и др. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологические условия размещения. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. — 288 с.
14. Прокин В. А., Буслаев Ф. П., Исмагилов М. И. и др. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологическое строение. — Свердловск: УрО АН СССР, 1988. — 241 с.
15. Скрипченко Н. С. Гидротермально-осадочные сульфидные руды базальтовидных терриций. — М.: Недра, 1972. — 216 с.
16. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. — М.: Недра, 1969. — 685 с.
17. Смирнов В. И., Еремин И. О. О минералого-geoхимической зональности сульфидных рудных тел // Зап. Всес. минер. съезда, 1976. — Ч. 105, Вып. 5. — С. 598—616.
18. Хиллс Е. Ш. Элементы структурной геологии. — М., 1967. — 480 с.
19. Шахов Ф. Н. Состояние вопроса и направление развития исследований процесса образования рудных столбов // Проблемы образования рудных столбов. — Новосибирск: Наука, 1972. — С. 3—6.
20. Beck R. Lehre von den Erzlagerstätten. Zweiter Band. /1909.
21. Cotta B. Die Lehre von den Erzlagerstätten. Freiberg, 1855.
22. Lindgren W. Mineral Deposits. N. J. 1933.

УДК 551.4+553.981/982(470.1)

С. Л. Княжин

ВЫЯВЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ В СОВРЕМЕННОМ РЕЛЬЕФЕ (На примере Вычегодско-Камского региона)

Первым исследователем, выдвинувшим проблему изучения тектонических структур с использованием морфометрии, стал В. П. Философов [22]. К сожалению, он шел от идеи, а не от изучения проявления конкретных поднятий в современном рельфе. В результате получилась относительно низкая подтверждаемость предложенного метода поисков.

За следующие три с лишним десятилетия структурно-геоморфологические методы развивались очень интенсивно. Предложены десятки различных способов анализа форм рельефа, как по его расчлененности, так и по его деформациям [3, 5, 6, 15, 19, 20, 21]. Есть во многих нефтегазоносных провинциях специалисты-геоморфологи, удачно применяющие отдельные из разработок: В. И. Алексеев [1], Н. Г. Волков [3], В. И. Гридин [4, 6], Л. К. Затькова [8], Н. П. Костенко, О. Г. Мартынов [19]. Тем не менее единая и достаточно надежная методика структурно-геоморфологических исследований при нефтегазоподробных работах не отработана. Более того, нет даже определения, что представляет собой структурно-геоморфологическая аномалия.

Морфоструктуры охарактеризованы как «структуры от гигантских до мельчайших, выраженные в рельефе такими формами (макро-, мезо-), которые либо непосредственно передают основные элементы их морфологии, либо позволяют ее восстановить» [19]. Как видим, формулировка полуконкретная, так как «восстанавливать» можно спорными, разными способами.

Автор проводил структурно-геоморфологические исследования в пределах Вычегодско-Камского региона, где большое разнообразие морфогенетических типов структур: от солянокупольных в Притиманье до инверсионных в Сыктывкарско-Казанском прогибе, рифогенных внутри и

на бортах Камско-Кинельской системы впадин. Преобладают в регионе скульптурно-денудационный, частично переработанный ледниками процессы, флювиогляциальный и флювиальный типы рельефа. В бассейне р. Вычегды рельеф сформирован преимущественно ледниками процессами, условия для исследований здесь затрудненные.

Для выработки методики избран анализ проявления открытых месторождений нефти и газа в современном рельефе. Подобная попытка около 25 лет тому назад предпринималась Б. С. Луневым [15]. Авто-

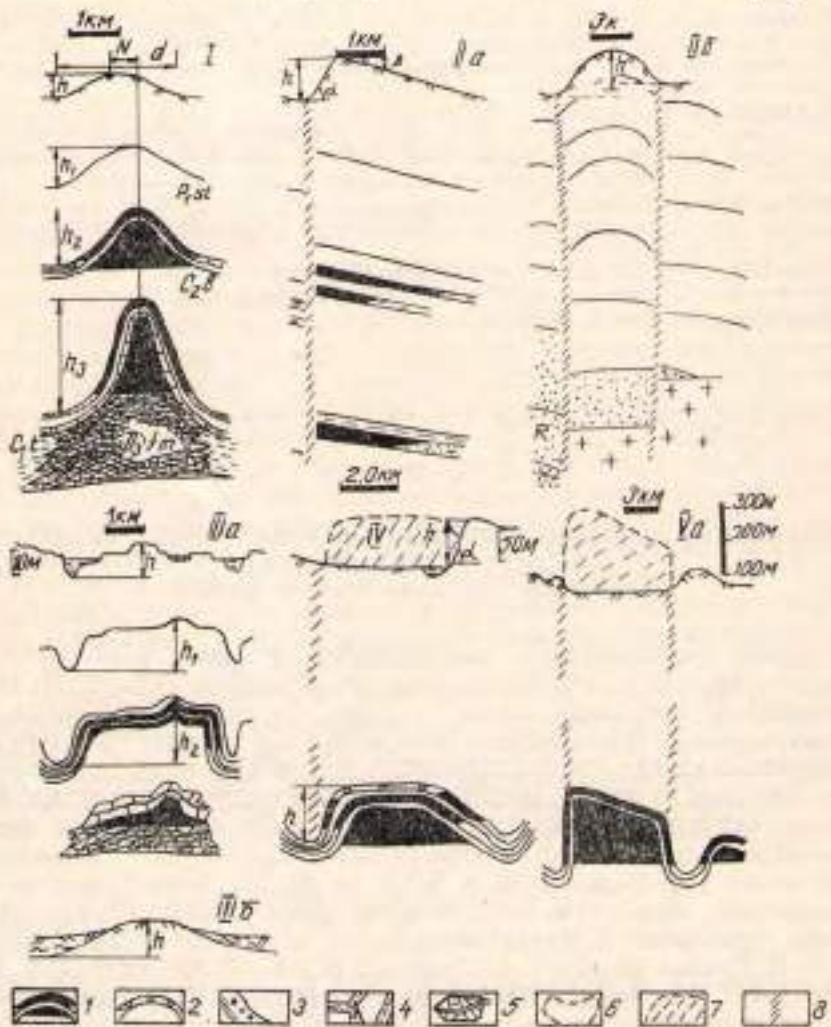
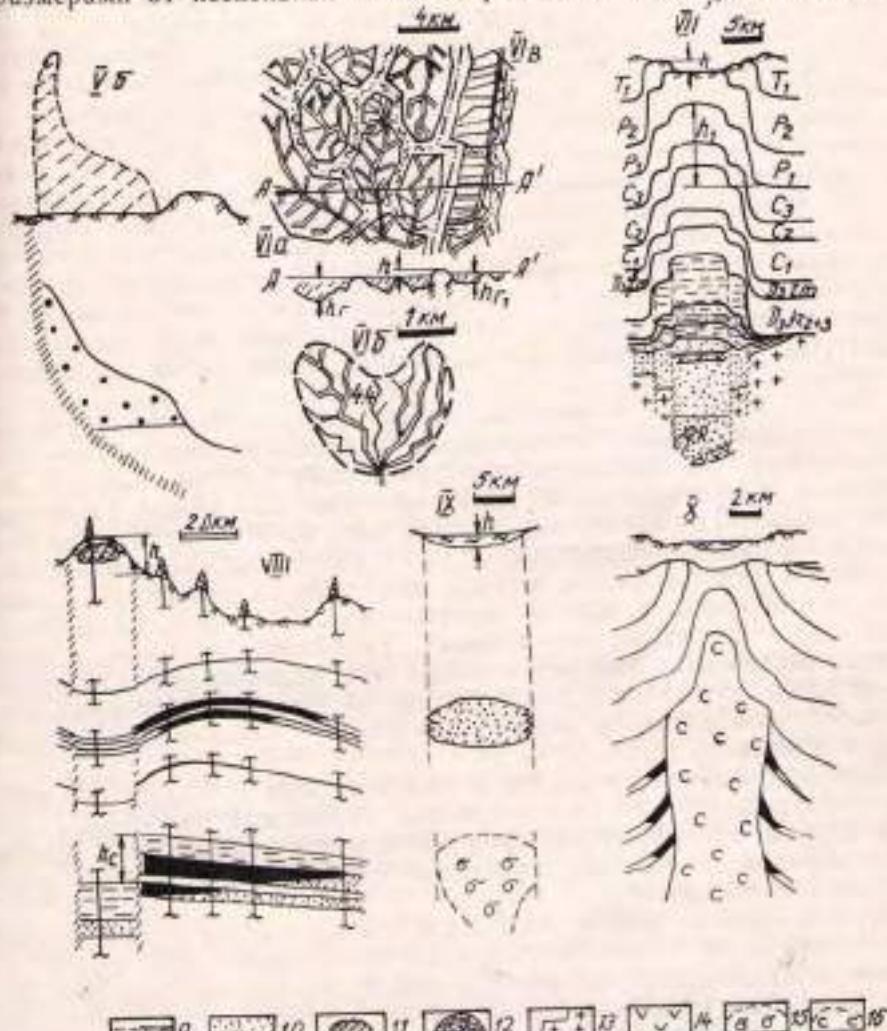


Рис. 1. Основные типы и подтипы структурно-геоморфологических аномалий и их параметры.

1 — волнистые и округлые пологие холмы над погребенными холмогенными фациями; 1/а — аномалии, приуроченные к залежально-тектоническим уступам; 1/б — промежуточные тектонические блоки в прибрежных зонах вымывания, испытывающие поднятие; 1/в — положительные аномалии в пределах флювиального рельефа; 1/г — положительные аномалии в крупных болотах; 1/д — поднятия под асимметричными долинами крупных рек; 1/е — участки с единично выраженным рельефом над высокомагнитудными локальными структурами; 1/б — поднятия аномалии, вызванные над Вуктыльским газоконденсатным месторождением (за выходом избюса на дневную поверхность полоса болот); 1/в — края залежи залежного расчленения рельефа над эрозионными залежами в решетчатой структуре выдвинутой залежью процессами поверхности выравнивания; 1/г — поднятия аномалии, выраженный перебористым рисунком негородища (на резко повышенной плотности); 1/д — полосы аномальной поднятости относительно выраженного рельефа над внутренними грабенами Сысертинско-Кизильского прогиба; 1/е — высокие водораздельные гряды над депозициями мидограбенами; 1/ж — прямые отрицательные аномалии над предполагаемыми линзами плиоэльловых отложений (низовья глубинки избыточные насыщенные существование отрицательных форм в погребении в современном).

ном изучено проявление в рельефе около 200 месторождений и локальных структур.

Накопленный опыт исследований (всего за 15 лет выявлено около 1000 структурно-геоморфологических аномалий различных по степени надежности, что определяется точностью топокарт) позволил дать такую формулировку: «Любые, как положительные, так и отрицательные отклонения комплексов форм рельефа (простых и сложнопостроенных) с размерами от нескольких сотен метров до десятков километров от



рельефа); k — одна из 16 разновидностей локальных округлых аномалий над предполагаемой солянокупольной структурой.

Условные обозначения: k — вертикальная амплитуда и d — поперечный размер структурно-геоморфологической аномалии; b_1 , b_2 , b_3 — амплитуды структур по различным горизонтам осадочного чехла; b_4 — сохранившаяся после частичной инверсии амплитуда древесного микроравнина; h_r — глубина расщепления рельефа в пределах аномалии; N — величина смещения вершины холма относительно вершины рифа; α — крутизна склона, в градусах; β — деформация поверхности выравнивания, выраженная в уклоне в м на км; δ (δ TO) — плотность магнитации на единицу площади локального купола.

1 — залежи нефти, 2 — газовые шапки, 3 — газоконденсатная залежь, 4 — решетчатая структура поверхности выравнивания, справа — высокая водоразделовая гряда, 5 — пачка зернистого расслоения с негатрещинами, 6 — контур локального купола, 7 — массивы горных пород, разрушенные зернистыми прослоями, 8 — текtonические нарушения (в разрезах), 9 — слои — болота, справа — русла рек и отмелей, 10 — песчаники, 11 — выравненные отложения на водораздельных грядах антecedентного прохождения, 12 — рифогенные известники, 13 — породы приставлического фундамента, 14 — инфильтрации осадочного состава, 15 — глубинный застывший породы повышенной плотности, 16 — каменные соли.

принимаемых в качестве исходных ненарушенных плоскостей-поперечностей выравнивания рельефа — рассматриваются в качестве локальных структурно-геоморфологических аномалий. Поверхности выравнивания, особенно возвышенные, разрушаются по ячейкам эрозионного расщепления и сохраняются на территориях в виде решетчатых водораздельных форм. Положительные деформации характерны для зон, примыкающих к эрозионно-тектоническим уступам, выпуклых структур уплотнения, а также для пойм средних и больших рек. На участках опусканий поверхности выравнивания могут заболачиваться, захороняться рыхлыми отложениями увеличенных мощностей. Важнейшими параметрами структурно-геоморфологических аномалий являются амплитуды их отклонения от уровней поверхностей выравнивания».

Материал, накопленный автором по методике структурно-геоморфологического анализа, обширен, опубликован частично [9—13], в данной статье впервые дается в обобщенном, хотя и кратком изложении.

Все 10 выявленных типов структурно-геоморфологических аномалий приведены на рис. 1. Главный вывод из проведенных исследований: различные по происхождению структуры в областях распространения неодинаковых по генезису типов рельефа проявляются по-разному. По характерным комплексам индикаторных признаков выделено 10 типов структурно-геоморфологических аномалий. Ниже дается их характеристика.

Тип I. Овальные и округлые холмы определенных размеров над погребенными конусовидными рифами. Выделены 3 подтипа: Ia — устанавливаемые над верхнедевонско-турнейскими рифами холмы с размерами в поперечнике от 1,0 до 5,0 км, чаще 1,2—3,0 км, с превышением вершин над седловинами водоразделов на 5—25 м, реже до 40 м; Iб — узловатые водораздельные гряды с раздувами над рифами (указывают на местоположение цепочек конусовидных рифов); Iв — округлые, иногда слегка угловатые холмы высотой 30—80 м. Особенности морфологии последних, по-видимому, указывают на более молодой возраст погребенных рифов. По аномалиям намечено местоположение более 250 конусовидных рифов, около 40 частично подтверждаются данными сейсморазведки. Эталонный участок — Южно-Киенгопское месторождение.

Хотя конусовидные рифы малы по площадным размерам, они высокоамплитудны (80—200 м) по кровле турнейских карбонатов. Для этой группы структур характерна наибольшая концентрация запасов углеводородов на единицу площади и самые высокие дебиты нефти (до 100—400 т в сутки).

Отмечаются как полные совпадения в плане холмов и конусовидных рифов, так и их частичное смещение относительно друг друга, что скорее всего связано с наличием у рифов карбонатных шлейфов. Выявленные структурно-геоморфологические аномалии суживают район поисков, определяют площади, где необходима высокая плотность сейсмопрофилирования.

По Алиашской площади (юг Удмуртии) изучена зависимость между превышением современных холмов и амплитудами структур облекания конусовидных рифов по кровле яснополянских, верейских и нижне-пермских отложений (рис. 2, 3). Коэффициент корреляции в первом случае составил 0,748 (при 16 значениях). Зависимость носит линейный характер и является удовлетворительной, выражена уравнением $y = 4,621x + 42,4$, где x — амплитуда холма над конусовидным рифом, y — амплитуда структур облекания.

Слабая линейная, возможно, более сложная (см. рис. 2, 3) зависимость с коэффициентом корреляции 0,477 характерна для связи между превышениями холмов и амплитудами верейских структур облек-

кания. Огрубленная линейная зависимость выражается средним уравнением $y = 3,713x + 18,3$.

Слабый, но заметно больший по величине коэффициент корреляции — 0,589 характерен для связи между превышениями холмов над

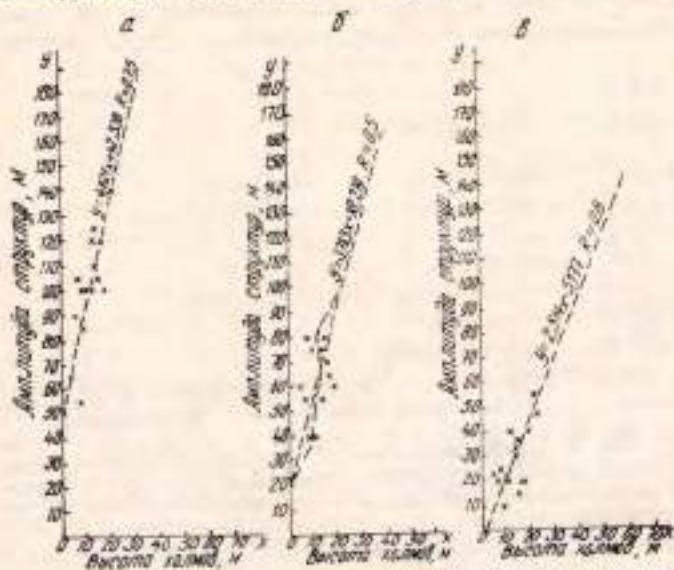


Рис. 2. Зависимость между амплитудами структур облекания конусовидных рифов и высотами холмов над ними:
A — по кровле яснополянских терригенных отложений;
B — по кровле верескового горизонта;
C — по краю нижнепермских отложений

конусовидными рифами и структурами облекания по кровле нижнепермских отложений. Зависимость выражается средним уравнением: $y = 2,514x - 5,2$.

Итак, наиболее надежной является зависимость по уровню в разрезе, наиболее близкому к конусовидному рифу, — по кровле яснополянских терригенных отложений.

По Алиашской площади средние амплитуды структур облекания по кровле яснополянских, вересковых и нижнепермских отложений равны соответственно 99, 63,3 и 24,3 м, а средние превышение холмов — 12 м. Структуры облекания высокоамплитудных (обычно более 80 м) конусовидных рифов вверх по разрезу уменьшаются по выраженности, но сохраняются даже в слоях, выходящих на дневную поверхность. Формирование структуры облекания — длительное; прямое выражение потребленного конусовидного рифа в современном рельефе, хотя и в сглаженном виде, объясняется постепенным уплотнением турнейских глин за контурами рифа. Для центральных районов Удмуртии, где не было дополнительного верескового палеоразмыва, ожидаются более высокие коэффициенты корреляции между амплитудами структур облекания и холмов.

Тип II. Прямо выраженные в рельефе положительные структуры. Выделены два подтипа: аномалии в пределах поднятых блоков рельефа, ограниченных эрозионно-тектоническими уступами, и повышенные морфоблоки рельефа над промежуточными тектоническими ступенями в зонах соединения авлакогенов и сводов (см. рис. 1). Опорный участок — Ивкинско-Татауровская группа поднятий — прямо выражен в рельефе центральным наиболее возвышенным участком Вятского узала, разбит более чем 20 эрозионно-тектоническими уступами (нару-

шениями), наибольшая амплитуда уступа достигает 75 м. Эталон — второго подтипа — Угловская группа морфоаномалий над участком восточного борта Кировского авлакогена.

Сведения об эрозионно-тектонических уступах в пределах разнообразия немногочисленны [18]. Для обоснования их происхождения важно иметь следующие характеристики: а) высота уступа и ее изменение по простиранию, б) проявление уступа в структуре осадочного чехла, в) деформация поверхности выравнивания на приподнятом блоке, то есть уклон в метрах на километр, г) возможное наличие смещений по сдвигам, д) степень выпложенности уступа, позволяющая оценить его возраст.

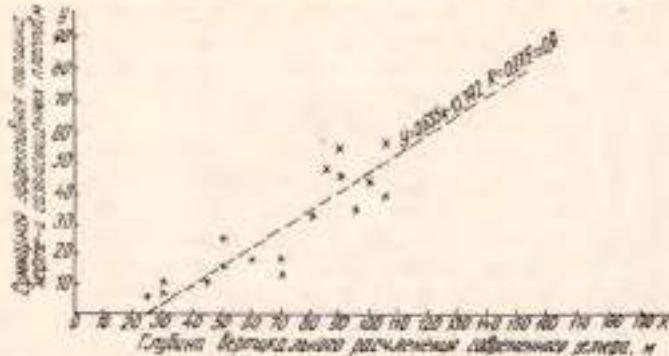


Рис. 3. Зависимость между глубинами расщепления современного рельефа в пределах аномалий от суммарных нефте- и газонасыщенных мощностей (в отложениях палеозоя, VI тип аномалий).

нение по простиранию, б) проявление уступа в структуре осадочного чехла, в) деформация поверхности выравнивания на приподнятом блоке, то есть уклон в метрах на километр, г) возможное наличие смещений по сдвигам, д) степень выпложенности уступа, позволяющая оценить его возраст.

Выявленные автором эрозионно-тектонические уступы (ограничивающие Верхнекамскую возвышенность, Вятский увал, Есенейский и другие) поставили в качестве серьезнейшей проблемы вопрос о их происхождении. Если это палеосейсмодислокации, то приходится допускать вероятность их образования в результате землетрясений силой в 10—12 баллов [10, 12, 23]. Не исключено, что формирование таких уступов связано с поступлением в осадочный чехол и глубокие горизонты фундамента природных сжиженных газов. Их плотность в пластовых условиях около $0.1 - 0.5 \text{ г}/\text{см}^3$, что значительно ниже, чем у рассолов, — $1.17 - 1.19 \text{ г}/\text{см}^3$. Замещение рассолов флюидами вызывает резкое изостатическое облегчение блоков и соответствующее их поднятие в рельфе на десятки метров [14].

Тип III. Аномально осушенные участки в пределах развития флювиального и заболоченного рельефа (высокая сухая пойма, острова, отмели в руслах крупных рек, осушенные участки в крупных болотах). Опорные участки: Унтемский, Телеговский.

Тип IV. Участки с обращенным рельефом в сочетании со смещением прямым (обычно под асимметричными долинами средних рек). Такие аномалии сформированы за счет подмытия рекой ее крутого берега. Высота крутого берега, как правило, не расщепленного оврагами, совпадает с амплитудой флексуры на крутом борту структуры. Эталонный участок — Зуринско-Новоглазовский (под долиной р. Ита).

Тип V. Участки с аномально пониженной расщепленностью рельефа над высокоамплитудными структурами. Впервые этот редкий тип аномалий установлен над Кезским месторождением [10]. Другой подтип аномалии выявлен над уникальным Буктыльским газоконденсатным месторождением. Основное отличие состоит в том, что западнее полосы

выравненного рельефа прослеживается полоса болот (над выходом на дневную поверхность высокоамплитудного взброса протягивается длинное болото). Амплитуды структур, характерные для данного типа аномалий, 150—1000 м. Формирование выравненного рельефа происходит за счет быстрого разрушения эрозионными процессами резко приподнятых блоков. В их пределах рельеф обладает очень высокой энергией (узкие и глубокие овраги, очень крутые склоны).

Южнее Вуктыльского месторождения намечены участки с аналогичными аномалиями. Здесь вероятно открытие в будущем еще 3—4 уникальных месторождений.

Тип VI. Участки с аномально высокой расчлененностью рельефа над локальными поднятиями. Данный тип аномалий наиболее характерен для скульптурно-денудационного рельефа, но выявлен и в Притиманье, на площадях, переработанных ледниками процессами, там, где расчлененность рельефа восстановлена. Выделяется группа разновидностей аномалий этого типа. VIa — аномалии с глубиной вертикального расчленения более 80 м и наибольшими площадными размерами (до 10—20 км по протяженности). Указывают на местоположение крупных рифовых массивов (погребенных) с этажом нефтегазоносности в сводовых участках структур облекания не менее 35 км. Это основные месторождения Удмуртии: Чутырско-Киенгольское, Мишкинское, Гремихинское, Ельниковское. VIb — небольшие по площади (от сотен метров до 3—4, в редких случаях до 7 км) участки с высокой горизонтальной расчлененностью рельефа, чаще всего с веерообразным рисунком мегатрещин (II). Аномалии с повышенной перспективностью выделяются при плотности мегатрещин от 2 до 3 пог. км на кв. км. Там, где горизонтальная расчлененность рельефа превышает 3 пог. км на кв. км, следует ожидать максимальный этаж нефтегазоносности (многие десятки метров). Эталонный участок — Большое-Ошворцевский. VIa — над месторождениями нефти в терригенном девоне выявляется относительно невысокая вертикальная расчлененность рельефа (обычно 20—50 м), соседство с высокими водораздельными грядами, группы длинных параллельных мегатрещин. По 18 месторождениям и крупным куполам в Удмуртии изучена зависимость между глубинами вертикального расчленения рельефа и суммарными эффективными мощностями нефтегазоносных пород, вскрытых в палеозойских отложениях. Получена линейная зависимость, имеющая вид $y = 0,635x - 16$, где x — глубина вертикального расчленения, y — суммарная мощность нефтегазоносных пластов в метрах. Коэффициент корреляции — 0,88 (рис. 2, 3).

Полученная зависимость позволяет прогнозировать этаж нефтегазоносности даже в пределах слабоизученных территорий (рис. 4). Для этого сначала выделяются аномалии, потом определяется глубина вертикального расчленения рельефа, и, наконец, выделяются различные по перспективности (по этажу нефтегазоносности) объекты. Аномалии с глубиной вертикального расчленения более 80 м могут быть рекомендованы к вводу в бурение без подготовки сейсморазведкой.

Всего по изученному региону выявлено около 15 объектов, где ожидается открытие крупных месторождений углеводородов. Основная сложность: показатели расчлененности пока не позволяют дать оценку, чем будут заполнены ловушки — целиком нефтью или в значительной мере азотным газом. Поэтому желательно комплексирование с геохимическими способами.

Хотя существует немало разработок по оценке степени расчлененности рельефа [19, 20], автор предложил свои новые методы, которые в связи с их большой практической значимостью представляют собой «ноу-хау».

Ячейки эрозионного расчленения рельефа, решетчатая структура смежных эрозий поверхностей выравнивания надежно устанавливается с использованием топокарт масштаба 1:25 000 и 1:50 000. Уже масштаб 1:100 000 не обеспечивает достаточной точности исследований, не позволяет изучать плотность мегатрещин для выявления локальных куполов.



Рис. 4. Пример районирования малоизученной территории (юго-восточная часть Лопукинского свода) по перспективности на нефть и газ на основе использования показателей расчлененности современного рельефа.

Условные обозначения: 1 — площади распространения олиготропического и поздненового типов рельефа; 2 — участок с предполагаемыми конгломератами рифов и наибольшим этапом нефтегазоносности; 3 — наиболее перспективные участки с ожидаемым этапом нефтегазоносности в несколько десятков метров, выделяемые по аномальной высокой вертикальной расчлененности рельефа (предположительно над локальными верхнедевонскими рапсовыми телами); 4 — площади высокоперспективные с ожидаемым этапом нефтегазоносности в складовых частях структур более 35 м (глубина вертикального расчленения рельефа 50—80 м); 5 — площади с повышенной перспективностью и ожидаемым этапом нефтегазоносности в складовых частях структур в 15—35 м (глубина вертикальной расчлененности рельефа 50—80 м); 6 — площади с вероятным наличием залежей нефти в терригенном девоне; 7 — площади с невысокой перспективностью (окончанием этапа нефтегазоносности менее 15 м, вертикальная расчлененность рельефа менее 50 м); 8 — малоперспективные площади (глубина вертикального расчленения рельефа менее 25 м — промышленные залежи нефти и газа маловероятны); 9 — заподняочный участок поймы, который обтекает реку (тождественен аномалиям над предполагаемыми склонами куполов); 10 — цепочка предполагаемых небольших рапсовых тел; БХII — Бело-Холуницкая цепочка предполагаемых рапсовых тел; ЧХII — Черно-Холуницкая цепочка предполагаемых рапсовых тел. Высокоперспективные локальные участки: К — Каторинский, В — Веселкинский, М — Малиновский.

Появление оврагов, формирование эрозионной сети следует связывать с изостатическим облегчением блоков, в которые поступили флюиды, с изменением кривизны таких блоков при их всплытии. Второй действующий фактор — поступление порций глубинного тепла с флюидами, заполняющими структуру. Имеются исследования, подтверждающие это [7, 17].

Тип VII. Полосы аномально пониженно-го относительно выровненного рельефа над внутренними девонскими грабенами Сыктывкарско-Казанского прогиба. Опорный участок — Бабкинский, Сырянинский. Такие аномалии имеют ширину в 4—10 км, длину в десятки километров (чаще 30—40 км), тождественны аномалиям, наблюдавшимся над грабенами Байкальской рифтовой системы: Муйской, Баргузинской и другими. Всего выявлено 16 аномалий VII типа. В их пределах мощность терригенного девона увеличивается примерно в 2 раза в сравнении с примыкающими участками прогиба (см. рис. 1).

Тип VIII. Водораздельные гряды, возвышающиеся над примыкающим рельефом (указывают на местоположение девонских микрограбенов). Инерсийное происхождение доказывается наличием на водоразделах рыхлых русловых отложений. При больших амплитудах инверсии в единичных случаях формируются микрогорсты (Пионерский). Только тогда высокие водоразделы начинают разрушаться эрозионными процессами. Ширина высоких водораздельных гряд 0,5—2,0 км, чаще около 1,0 км, протяженность до многих десятков километров. Опорные участки — микрограбены, ограничивающие по терригенному девону Ижевское и Дмитриевское месторождения. К микрогорстам приурочено Коробовское месторождение.

Тип IX. Прямые отрицательные аномалии рельефа, выраженные в виде локальных заболоченных участков. Эталонная площадь Каранторфовская, где по данным сейсморазведки предполагается наличие мощной линзы погребенных палеодельтовых отложений. Под такими аномалиями предполагается наличие глубинных диапиров пород повышенной плотности (избыточных масс), которые обусловили существование отрицательных форм в погребенном и современном рельфе.

Тип X. Локальные округлые структурно-геоморфологические аномалии 16 разновидностей над предполагаемыми солянокупольными структурами Притиманья. Прослежены переходы одной разновидности в другую, которые, по-видимому, соответствуют солянокупольным формам разных стадий развития, различных по глубинности. Наиболее крупные аномалии — Ташская (до 10 км в поперечнике), Джурничская, верховьев р. Соль, Кобылья, Деревянская. По данным сейсморазведки Сереговский соляной купол прослежен на глубину не менее 4 км.

Над крупными поднятиями (Чутырским, Мишкинским) отмечаются гетерогенные по типам аномалии. Чаще всего наблюдается сочетание участков, где проявляется флювиальный осушенный и аномально расщепленный рельеф. Внутри крупных аномалий нередко выявляются мелкие (над локальными куполами), к которым приурочены дополнительные мелкие залежи нефти.

Частота встречаемости аномалий разных типов. Из учтенных на начало 1993 г. 32% относятся к I типу, 30% — к VI типу. На все остальные 8 типов аномалий приходится лишь чуть больше трети случаев их проявления. Особенно редки аномалии V, VII и IX типов.

Подтверждаемость результатов структурно-геоморфологических исследований. При проверке рекомендаций автора структурным бурением лишь с середины 1980 г. до августа 1982 г. выявлено 19 поднятий суммарной площадью 285 км². Впоследствии открыты Пограничное, Новоселкинское и другие месторождения. По Западно-Чутырскому, Утемскому, Сундурскому поднятиям подтверждилось предсказанное увеличение их площади от 1,47 до 2,6 раза в сравнении с данными сейсморазведки. В 1982 г. было показано, что площадь Архангельского месторождения увеличится на 75%, что подтвердили 6 пробуренных вскоре разведочных скважин. По результатам бурения Ярской параметрической скважины обосновано ожидаемое научное открытие — выявление залежей природных сжиженных газов. В скв. 3000 (Ижевская) по ГИС нефтеносны пласти в интервалах 2133,8—2134,6 м, 2192,0—2193,6 м, 2217,6—2218,4 м (кровля пласта D₀, пласти D₂, D₃). Эта скважина вскрыла краевую часть многопластового и, по-видимому, крупного месторождения нефти в терригенном девоне. Продолжается доразведка Ельниковского, Ижевского, Есенинского, Красногорского, Мишкинского месторождений с учетом рекомендаций автора. Исключительное практическое значение имеют обнадеживающие результаты по терригенному девону, где сейсморазведка давала ошибочные результаты (из-за резкой фациальной неоднородности вышележащей рифогенной толщи).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев В. И. Поиски структур на основе структурно-морфометрического метода // Изв. вузов. Нефть и газ.—1987.—№ 5.—С. 13—17.
2. Аристархова Л. Б., Полканова Л. П. Задачи геоморфологических исследований при поисках нефти и газа // Вестн. МГУ. Серия геогр.—1975.—№ 2.—С. 80—85.
3. Волков И. Г. Карты изоден // Применение геоморфологических методов в структурно-геологических исследованиях.—М.: Недра, 1970.—С. 59—70.
4. Вожманиш Е. И., Гарбунова К. А., Проворов В. М., Черткова И. И. Сравнительный анализ результатов структурно-геоморфологических и неотектонических исследований с целью повышения эффективности нефтегазонных работ в Западном Прикамье // Геол. месторожд. горюч. ископаемых, их поиск и разведка.—Пермь, 1984.—С. 9—13.
5. Глин В. Я. Карты изолонг // Применение геоморфологических методов в структурно-геологических исследованиях.—М.: Недра, 1970.—С. 73—76.
6. Гридин В. И., Гирилович Л. С., Плаксинский Г. Ф. Сравнительный анализ структурно-геоморфологических, геологических и геофизических данных для северо-восточной части Припятской впадины // Геоморфология и геофизика.—Л.: Наука, 1972.—С. 121—133.
7. Зелинский Г. В., Нассауэр Ф. И., Зелинский Р. Л. и др. Термическая съемка в нефтегазонной стратегии // Доклады Международного семинара ООН, Киев // Геологический журнал.—1990.—№ 1.—С. 33—39.
8. Зятькова Л. К. Диагностические структурно-геоморфологические исследования при палеогеоморфологических реконструкциях в Западной Сибири // Диагностические исследования при поисках полезн. ископаемых.—Новосибирск, 1986.—С. 49—56.
9. Иванов В. К., Наговицына Т. Б., Княжин С. Л. Возможности структурно-геоморфологического анализа при доразведке месторождений нефти // XI науч.-техн. конф. мол. ученых, 24—25 сентября 1985 г. Тез. докл.—Пермь, 1985.—С. 4—5.
10. Княжин С. Л. Основные типы структурно-геоморфологических аномалий Камско-Ветлужского междуречья // Тезисы докл. XVII науч.-техн. конф. мол. ученых и специалистов 17—18 апр. 1981.—Бугульма, ТатНИПИнефть, 1981.—С. 11—12.
11. Княжин С. Л. О предполагаемой природе древовидных систем метагратации / ТатНИПИнефть.—Бугульма, 1984.—10 с.—Дел. в ВНИТИ № 03.10.84, № 1102.
12. Княжин С. Л. Главный эрозионно-тектонический уступ Верхнекамской возвышенности, уступы Вятского увала и его сейсмичность // Вятская земля в прошлом и настоящем (К 500-летию вхождения в состав Российской государства): Тез. докл. и сообщ. к науч. конф. 23—25 мая 1989.—Киров, 1989.—С. 195—196.
13. Княжин С. Л. Геоморфологический прогноз строения по этапным зонам // Сыктывкар, 1991.—С. 29—31.
14. Княжин С. Л. Будут ли открыты залежи сжиженных углеводородных газов? // Народное хозяйство Республики Коми.—1992.—№ 1.—С. 102—111.
15. Лунев Б. С. Дифференциация осадков в современном аллювиуме // Уч. зап. Пермского госуд. ун-та.—Пермь, 1967.—333 с. Вып. 174.
16. Мещериков Ю. А. Структурная геоморфология развитых стран.—М.: Наука, 1965.—390 с.
17. Осадчий В. Г., Лурье А. И., Ерофеев В. Ф. Геотермические критерии нефтегазоносности недр.—Киев: Наукова думка, 1976.—144 с.
18. Орлова А. В. Блоковые структуры и рельеф.—М.: Недра, 1975.—232 с.
19. Основы методики структурно-геоморфологических исследований при нефтегазонных работах: Тр. ВНИГНИ: Вып. 198.—М.: Недра, 1978.—264 с.
20. Полканова В. Б., Полканов В. П. Карты интенсивности расчленения рельефа // Применение геоморфологических методов в структурно-геоморфологических исследованиях.—М.: Недра, 1970.—С. 40—43.
21. Полканова Л. П. Особенности индикации локальных поднятий // Прогноз локальных структур по аэрокосмическим снимкам: Науч. тр. Всес. и-и геол.-разв. нефт. ин-та.—М., 1984, Вып. 252.—С. 37—47.
22. Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур.—Саратов: Изд. Саратов. ун-та, 1960—91 с.
23. Хромовских В. С., Иванов А. А. По следам сильных землетрясений.—М.: Наука, 1984.—145 с.

РАЗВЕДОЧНАЯ ГЕОФИЗИКА

УДК 550.837

A. A. Редозубов, С. С. Сысков

ИЗУЧЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ГОРНЫХ ПОРОД В РУДНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ

Анизотропия горных пород и ее геологическая природа

Многие горные породы обладают анизотропией электромагнитных свойств — удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости, поляризуемости, магнитной проницаемости. В кондуктивной электроразведке значение имеют удельное сопротивление ρ и поляризуемость η . В статье излагаются результаты изучения анизотропии этих параметров, полученные на кафедре рудной геофизики Уральского горного института в последние годы.

В качестве модели анизотропной горной породы можно использовать слоистую среду или среду с эллипсоидальными включениями. Слоистая модель была предложена еще В. Р. Бурсианом и С. М. Шейманном [7] и хорошо известна. Этой моделью могут быть описаны горные породы, представленные переслаивающимися маломощными прослойками, рассланцованные породы, зоны трещиноватости, если трещины имеют одинаковую ориентировку. Удельное сопротивление по направлению слоистости называют продольным (ρ_l), а по нормали к слоистости — поперечным (ρ_n). Часто используется среднее квадратичное удельное сопротивление $\rho_m = \sqrt{\rho_l \cdot \rho_n}$. Для характеристики степени проявления анизотропии используется коэффициент анизотропии $\lambda = \sqrt{\rho_n / \rho_l}$. Так как всегда $\rho_n \geq \rho_l$, коэффициент анизотропии $\lambda \geq 1$. Аналогично, если прослойки имеют различную поляризуемость, оказываются различными продольная поляризуемость η_l по направлению слоистости и поперечная поляризуемость η_n по нормали к слоистости. В отличие от анизотропии удельного сопротивления, когда всегда $\rho_n > \rho_l$, при анизотропии поляризуемости соотношение между η_n и η_l может быть любым [2, 3].

Для характеристики анизотропии поляризуемости можно использовать параметр, аналогичный коэффициенту анизотропии, характеризующему анизотропию удельного сопротивления, вычисляя величину $\lambda_{\text{вп}} = \sqrt{\eta_n / \eta_l}$. В отличие от λ , $\lambda_{\text{вп}}$ не имеет четкой связи с поведением электрического поля и не входит в уравнения, описывающие это поле. Нам представляется удобным характеризовать анизотропию поляризуемости параметром $\Lambda_{\text{вп}} = (\eta_l - \eta_n) / (\eta_l + \eta_n)$ [2]. Модуль этого параметра определяет относительное различие η_l и η_n в долях среднего

значения η , а его знак указывает тип анизотропии поляризуемости: при η_1 больше η_n Ави положителен; при обратном соотношении поляризуемостей — отрицателен.

Рассмотренная модель однососной анизотропной среды (существует только одна особая ось, ориентированная нормально к слоистости) является частным случаем. Общим случаем является трехосная анизотропная среда. Такая среда получится, если рассмотренную выше слоистую модель рассечь системой трещин, пересекающих слоистость. Тогда в плоскости слоистости появится зависимость электрических параметров от направления, в котором они измеряются. Так, если трещины заполнены влагой, по направлению трещин, очевидно, удельное сопротивление имеет минимальное значение, как в плоскости слоистости, так и по отношению к его значениям по любым другим направлениям. Это значение соответствует продольному удельному сопротивлению. В плоскости слоистости по направлению вкrest трещин удельное сопротивление (обозначим его r_{1n}) имеет промежуточное значение между r_1 и r_t и является третьим главным значением тензора удельного сопротивления. Для характеристики степени анизотропии в плоскости слоистости удобно использовать аналогичную λ величину $\lambda = \sqrt{r_{1n}/r_t}$, которую можно назвать коэффициентом анизотропии в плоскости слоистости [4]. Для характеристики анизотропии поляризуемости в плоскости слоистости следует использовать параметр $\Lambda_{\text{п}} = (\eta_1 - \eta_{1n}) / (\eta_1 + \eta_{1n})$.

Авторами доказано широкое распространение в природе трехосных анизотропных сред [5]. Ранее их реальность не признавалась. Так, С. М. Шейнманн в своей основополагающей работе по электроразведке анизотропных сред [7], признавая мыслимость трехосных сред как комбинации из нескольких одноосных, отказывается от рассмотрения таких случаев, заявляя, что «...они не кажутся нам практически интересными».

В рудных районах широко распространены горные породы, содержащие включения, отличающиеся по своим электрическим свойствам. Такими включениями могут быть скопления рудной вкрапленности, участки, отличающиеся характером и степенью гидротермальной проработки и т. п. Еще А. Н. Заварецкий отмечал, что для колчеданных месторождений Урала характерно линзовидное строение геологической среды на всех уровнях от отдельного образца до месторождения в целом. Эти включения ориентированы в соответствии с общей структурой участка, то есть упорядоченно, что приводит к появлению анизотропии. Такие горные породы можно аппроксимировать средой, содержащей эллипсоидальные включения, теория электропроводности которой была достаточно хорошо разработана И. К. Овчинниковым. Основываясь на этой теории, не составляет труда перейти к поляризуемости подобных сред [2].

Главные оси тензоров электрических параметров в среде с упорядоченно ориентированными эллипсоидальными включениями ориентированы по направлению осей включений. Чтобы не усложнять терминологию, в дальнейшем при описании таких образований будем условно называть плоскостью слоистости плоскость, в которой расположены большая и средняя оси включений. Для коэффициента анизотропии в этой плоскости сохраним название коэффициент анизотропии в плоскости слоистости λ_c .

Возможные прикладные аспекты изучения анизотропии горных пород

Анализ геологической природы анизотропии горных пород позволяет оценить возможности использования ее в электроразведке и определить круг решаемых при ее изучении задач. При геологическом картировании изучение анизотропии электропроводности может быть использовано для картирования горных пород, различающихся по величине λ , в том числе и не дифференцированных по удельному сопротивлению. Объектами такого картирования могут быть зоны рассланцевания, зоны трещиноватости, ритмично-слоистые пачки и т. д. Принципиальным отличием картирования по параметру λ является возможность определения в каждой точке направления простирания слоистости, что позволяет при площадной съемке получать надежную информацию о структуре анизотропных зон в плане. При этом увязка результатов наблюдений по соседним профилям, как правило, не вызывает затруднений даже при относительно большом расстоянии между профилями. По результатам изучения других параметров в условиях сложного геологического строения такая увязка часто бывает неоднозначной даже при густой сети наблюдений.

Для картирования анизотропных горных пород могут применяться различные способы. Еще К. Шлюмберже указывал на возможность разделения горных пород с различным коэффициентом анизотропии по форме изолиний потенциала в поле точечного источника. Такие работы, по-видимому, впервые были проведены для картирования рудовмещающих кварцево-хлористо-серicitовых сланцев в Кировградском районе Г. П. Саковцевым и одним из авторов. Полученные результаты показали достаточную эффективность методики для решения этой задачи, однако при производственных работах такой способ едва ли применим из-за высокой трудоемкости. Значительно более технологичный способ кругового профилирования, успешно апробированный С. М. Шейнманом в условиях Кузбасса [7], в сложной геоэлектрической обстановке уральских колчеданных месторождений оказался совершенно неприемлемым из-за чрезвычайно сильного искажающего влияния дифференциации горных пород по удельному сопротивлению. Наиболее подходящим в таких условиях оказался способ крестообразной установки, чувствительность которого к неоднородностям среды по удельному сопротивлению сопоставима со способом прослеживания изолиний потенциала, а производительность существенно выше [6].

Если на участке есть скважины, возможно объемное изучение анизотропии, в результате которого определяются коэффициенты анизотропии λ и λ_1 , и ориентировка осей тензора удельного сопротивления в пространстве, определяющая элементы залегания анизотропных горных пород. Эта информация может использоваться для решения ряда геологических задач. Как показывают расчеты, наличие нескольких систем трещин может привести к появлению анизотропии в плоскости слоистости с λ_1 максимум до 1,2—1,3. Более высокие значения λ_1 могут появиться только при наличии в горной породе неизометрических упорядоченно ориентированных включений, например, скоплений рудной вкрапленности [4]. Следовательно, аномально высокие значения λ_1 можно рассматривать как дополнительный критерий при оценке потенциальной рудоносности участка. Ориентировка скоплений вкрапленности или линз, отличающихся по характеру и степени гидротермальной проработки, по-видимому, отражает пути движения флюидов. Поэтому результаты определения ориентировки осей тензора удельного сопротивления в пространстве можно использовать для изучения структурных особенностей рудных полей в процессе поисков и разведки

месторождений [1, 5]. Для объемного изучения анизотропии могут быть использованы результаты метода заряда в безрудные скважины либо специальные измерения. Существенно отметить, что при таких исследованиях удается получить эффективную характеристику крупных блоков породы объемом в десятки миллионов куб. м и более.

Изучение анизотропии поляризуемости открывает интересные возможности для оценки перспективности площадей и классификации аномалий метода вызванной поляризации. Известно, что если поляризующийся материал распределен в горной породе равномерно, то независимо от наличия или отсутствия анизотропии электропроводности, по поляризуемости эта среда изотропна. Такое распределение рудного материала характерно для зон рассеянной вкрапленности, нередко вызывающих аномалии η_A , но не представляющих интереса с точки зрения рудоносности. Анизотропия поляризуемости появляется только в том случае, когда более интенсивная минерализация избирательно приурочена к более проводящим либо к более высокоомным компонентам горной породы. При этом, в зависимости от распределения рудной вкрапленности, наблюдаются разные типы анизотропии поляризуемости. В первом случае η_A больше η_B и $A_{B/A}$ положителен, во втором — η_A меньше η_B и $A_{B/A}$ отрицателен. Очевидно, при поисках месторождений различных типов критерии оценки перспективности аномалий вызванной поляризации могут быть разными. Например, на колчеданных месторождениях Среднего Урала вдали от рудных тел, где процессы концентрации рудного вещества проявлялись слабо, вкрапленность пирита тяготеет к наиболее окварцованным, то есть плохо проводящим компонентам. На таких участках, мало перспективных на оруденение, наблюдается тип анизотропии, при котором $A_{B/A}$ меньше нуля. Вблизи рудных тел во вмещающих породах обычно наблюдаются мелкие линзочки и прожилки убогой сульфидной вкрапленности, обладающие повышенной поляризуемостью и пониженным удельным сопротивлением. В этом случае наблюдается тип анизотропии, характеризующийся положительным $A_{B/A}$. Появление такого типа анизотропии может быть использовано в качестве критерия перспективности аномалий метода вызванной поляризации.

Для измерения анизотропии поляризуемости могут применяться установки различных типов. Наиболее удобной оказалась квадратная установка [2], применявшаяся ее автором для изучения сред, анизотропных по электропроводности [8]. При объемном изучении анизотропии поляризуемости принципиально возможна оценка содержания рудной вкрапленности в изучаемом блоке и геометрических параметров включений (соотношения осей эквивалентных эллипсоидов).

Другим аспектом рассматриваемого вопроса является влияние анизотропии на результаты наблюдений различными методами электроразведки. При интенсивном проявлении этого влияния могут наблюдаться существенные искажения результатов метода сопротивлений, потенциальных методов и метода вызванной поляризации. В таких случаях неучет этого фактора может привести к ошибочным выводам при интерпретации.

Результаты изучения анизотропии горных пород на Поварненско-Чусовском рудном поле

В геологическом отношении участок слагается различного состава порфиритами и их туфами, протягивающимися узкой полосой в меридиональном направлении от Поварненского рудопроявления на севере до Чусовского месторождения на юге. Среди них развиты сланцы кварцево-хлорито-серicitового состава, являющиеся непосредственно рудо-

змешающими. Оруденение представлено небольшими линзами колчеданных руд, круто падающими на восток согласно с зонами рассланцевания. С запада и востока рудовмещающая толща ограничена массивами серпентинитов. Вблизи восточного контакта с серпентинитами развиты узкие полоски углисто-кварцевых сланцев (рис. 1а). Все горные породы в той или иной мере рассланцованны. По геофизическим

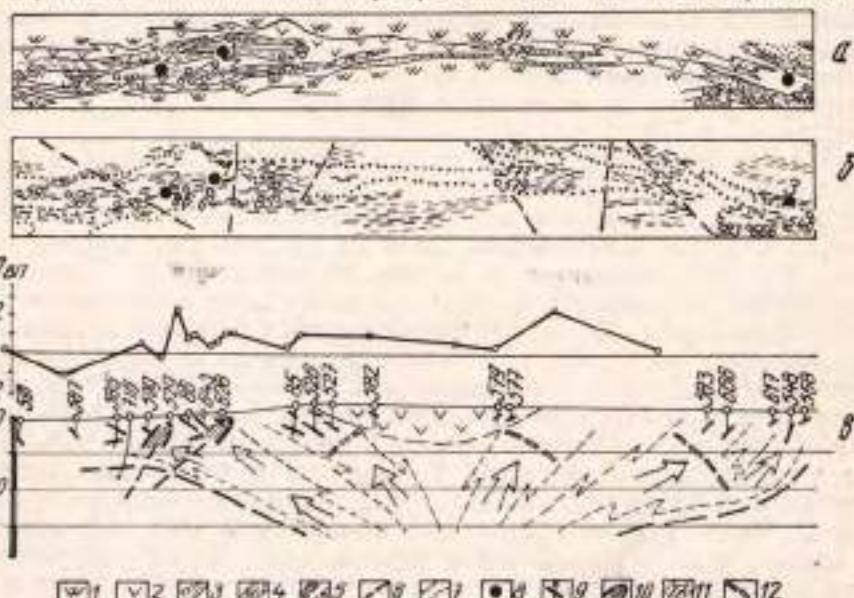


Рис. 1. Результаты изучения анизотропии горных пород из Поваринско-Чусовского рудном поле:

а — схематизированная геологическая карта (по С. А. Костромскому, В. Г. Хренову, О. Н. Юрьеву и др.); б — схема расположения зон повышенной анизотропии; в — график $\Delta_{\text{вн}}$ в предполагаемый продольный разрез рудного поля.

1 — серпентиниты; 2 — порфиры различного состава; 3 — туффиты и туфесчаники; 4 — сланцы кварцево-клинового состава; 5 — зоны повышенной анизотропии (короткие штрихи — λ_A больше 2,5; длинные штрихи — λ_A больше 1,6, длинные штрихи с точкой — λ_A больше 2,5); 6 — тектонические нарушения, выделившиеся по результатам карттирования анизотропии горных пород; 7 — область низких значений магнитного поля, соответствующая рудовмещающей толще; 8 — месторождения в рудопроявлениях (1 — Чусовское, 2 — Южно-Чусовское, 3 — Поваринское); 9 — ориентировка осей наибольшей электропроводности (алмазные отрезки пропорциональны λ_E); 10 — обобщенные проекции рудных тел; 11 — предполагаемое положение путей движения флюидов; 12 — участки зоновогоного рудообразования

данного рудовмещающей толще хорошо картируется пониженными значениями магнитного поля (рис. 1, б).

В пределах всей полосы было выполнено картирование анизотропных пород с крестообразной установкой [6] размером 50 м. Полученные результаты в виде геоэлектрической схемы показаны на рис. 1, б. На схеме выделены зоны повышенной анизотропии, разделенные по величине каждого коэффициента анизотропии λ_A на три группы. При этом ориентировка штрихов соответствует направлению простирации сланцеватости в соответствующих точках. Зоны с λ_A больше 1,6 соответствуют типичным сланцам. Штрихи с точкой выделены зоны, характеризующиеся очень высокими значениями λ_A , превышающими 2,5. Они картируют полосы углистых сланцев. Значениям λ_A от 1,3 до 1,6 соответствуют сильно рассланцованные порфиры и некоторые сланцы.

Из геоэлектрической схемы следует, что участок имеет сложное блоковое строение. По тупым выклиниваниям, смещениям зон повышенной анизотропии, по появлению локальных секущих зонок выделяются несколько нарушений, являющихся границами блоков. Часть

этих нарушений подтверждается результатами магниторазведки, некоторые установлены геологическими методами. В пределах каждого блока зоны рассланцевания также имеют сложное строение, часто разделяясь на параллельные зонки, образуя изгибы. Так, по результатам картирования отчетливо устанавливается, что Чусовское месторождение и Южно-Чусовское оруденение располагаются в разных зонах рассланцевания, сливающихся лишь на северном фланге. Описываемые результаты позволяют также сделать вывод, что в северной половине участка сланцы имеют более широкое развитие, чем показано на геологической карте, и появляются непосредственно севернее профиля скважин 577 и 579.

Наличие на участке значительного количества скважин позволило достаточно детально изучить структуру рудного поля способом, описанным в [1]. Полученные результаты изображены на рис. 1, а в виде осей наибольшей электропроводности на продольном разрезе рудного поля. Эти оси, отнесенные к точкам расположения источника поля, показывают направления, по которым среда имеет наименьшее удельное сопротивление. Длины отрезков отражают величину коэффициента анизотропии в плоскости сломистости λ_t . Как видно из рисунка, в южной части участка все оси закономерно наклонены на север. Полагая, что их ориентировка отражает пути движения гидротермальных растворов, был сделан вывод о расположении корневой части рудной зоны Чусовского месторождения к северу от него, что противоречило существовавшим в то время геологическим представлениям. Последующее бурение глубоких скважин подтвердило вывод, сделанный по результатам объемного изучения анизотропии горных пород. В северной части участка наблюдается южное скатывание осей наибольшей электропроводности, указывающее на расположение корневой части Поварненского рудопроявления в этом направлении. Полученная картина позволяет предполагать, что Чусовское месторождение и Поварненское рудопроявление представляют собой ветви единого рудного поля с корневой частью несколько южнее профиля скважин 577 и 579. Отсюда следует вывод о вероятной рудоперспективности средней части участка, частично перекрытой порфиритами.

Рассмотрим несколько подробнее результаты объемного изучения анизотропии на участке Чусовского месторождения. Над южной, погруженной частью рудного тела Чусовского месторождения наблюдаются высокие значения λ_t . При наземной съемке здесь отмечены весьма высокие значения λ_s . Повышение анизотропии горных пород в этой части можно объяснить прорывом отдельных струй флюидов через барьер, перед которым происходило рудоотложение. Это привело к образованию в среде сильно вытянутых («трубчатых») включений, которые и обусловили весьма высокую анизотропию. Совершенно аналогичная картина наблюдается несколько южнее при измерениях с заземлениями в скважине 585. Ориентировка осей наибольшей электропроводности и величина значений λ_t в этой части участка оказались примерно такими же, что и при измерениях в скважинах 86 и 643 над погруженной частью Чусовского месторождения. Результаты объемного изучения анизотропии в районе скважины 585 послужили основанием для проведения поисковых геофизических и геологоразведочных работ, завершившихся открытием Южно-Чусовского оруденения.

Очень высокие значения λ_s наблюдаются на северном фланге Чусовского месторождения, отделенном от самого месторождения тектоническим нарушением. В пробуренных здесь скважинах встречена довольно обильная вкрашенность пирита, иногда переходящая в малоносные линзы прожилково-вкрашенных руд. Не исключено, что на большей глубине здесь может располагаться и более значительное

оруденение. Однако нельзя исключить и альтернативный вариант, согласно которому этот блок приподнят и к поверхности земли выходит подрудная часть зоны.

В связи с широким развитием сульфидной вкрапленности на значительной части площади наблюдаются аномальные значения кажущейся поляризуемости τ_A по результатам площадной съемки по методу вызванной поляризации. При этом на некоторых заведомо безрудных

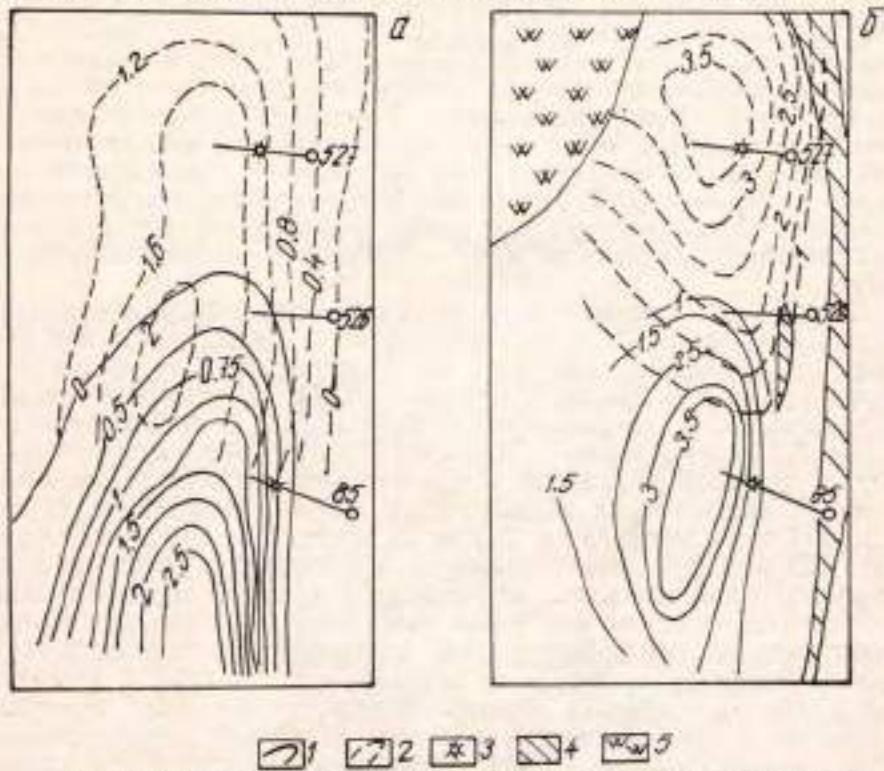


Рис. 2. Пример влияния анизотропии на результаты метода заряда (северный фланг Чусовского месторождения).

а — изолинии потенциала неблоденного полюса (по С. А. Костроминскому); б — изолинии потенциала полюса, исправленного за влияние анизотропии.

1 — изолинии потенциала при заряде в скважину 85; 2 — то же, при заряде в скважину 577; 3 — проекция заземленной на земную поверхность; 4 — углисто-кварцевые сланцы; 5 — серпентиниты

участках значения τ_A даже выше, чем над месторождением. Существенную помощь в классификации аномалий метода вызванной поляризации может оказать изучение анизотропии поляризуемости. Как следует из рис. 1, а, над Чусовским месторождением и Южно-Чусовским оруденением наблюдаются устойчивые повышенные положительные значения A_{VP} . К югу от оруденения коэффициент A_{VP} отрицателен либо близок к нулю. A_{VP} понижается почти до нуля и к северу от месторождения, после чего вновь несколько повышается, а затем снова постепенно понижается.

Резкое повышение A_{VP} наблюдается к северу от профиля скважин 579 и 577, после чего он снова понижается почти до нуля. При картировании в пределах этого блока выявлена зона повышенной анизотропии. Полученные результаты позволяют предполагать, что здесь развиты рудовмещающие сланцы, содержащие скопления рудной вкрапленности. Поэтому участок следует рассматривать как перспективный на оруденение.

Высокая анизотропия горных пород приводит к интенсивному ее влиянию на результаты электроразведочных методов. На рис. 2, а приведены результаты метода заряда на северном фланге Чусовского месторождения.

При заряде в маломощное рудное подсечение скважины 85 эпицентр поля смешается на юг, что позволяет сделать вывод о распространении оруденения в этом направлении и о приближении его здесь к поверхности земли. Аномалия, наблюдающаяся непосредственно к северу от профиля скважины, указывает на наличие здесь незаряженного хорошо проводящего объекта. В скважине 527 заряд располагался в кварцево-сернистых сланцах с сульфидной вкрапленностью. Смещение эпицентра в южном направлении и сильная вытянутость изолиний потенциала к северу может указывать на наличие здесь крупного хорошо проводящего объекта, близко подходящего к заземлению в зарядной скважине. Пробуренная же в области эпицентра скважина встретила только кварцево-сернистые сланцы с небольшой пиритной вкрапленностью, которая не может объяснить столь интенсивную аномалию.

Для введения поправки за влияние анизотропии были использованы средние значения λ , λ_1 и элементов залегания, полученные при измерениях в нескольких скважинах на этом участке. При введении поправки применялся принцип, описанный в [4]. Изолинии потенциала, исправленного за влияние трехосевой анизотропии среды, приведены на рис. 2, б. В поле заряда в скважину 85 эпицентр практически совпадает с профилем скважины. Сохранившаяся высокая эллиптичность изолиний указывает на наличие здесь хорошо проводящего объекта, в средней части которого располагается заземление. При заряде в скважину 527 эпицентр исправленного поля практически совпадает с профилем зарядной скважины, эллиптичность изолиний мала. Это позволяет сделать вывод об отсутствии здесь сколько-нибудь значительных проводящих объектов. Вытягивание изолиний в южном направлении можно объяснить влиянием оруденения скважины 85 и небольшой линзы углисто-кварцевых сланцев. Искажение изолиний потенциала в западной части вызвано, по-видимому, развитыми здесь серпентинитами, имеющими более низкий коэффициент анизотропии и высокую электропроводность. «Сплошивание» изолиний обоих зарядов в восточной части объясняется полосой углисто-кварцевых сланцев, обладающих очень высокой анизотропией и электропроводностью.

Таким образом, результаты изучения анизотропии горных пород на Чусовском участке указывают на возможность и целесообразность таких исследований для решения целого ряда геологических задач. В то же время, поскольку анизотропия оказывает существенное влияние на результаты электроразведочных методов, необходимо производить ее оценку и в случае необходимости учитывать при интерпретации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. 1619214 (СССР). Способ поисков гидротермальных рудных месторождений / А. А. Редозубов, С. С. Сысеков, В. М. Сапожников, П. Н. Коврижных, И. Г. Сквородников. Опубл. в БИ. 1991. № 1.
2. Коврижных П. Н., Редозубов А. А., Сысеков С. С. Использование анизотропии поляризуемости для классификации аномалий метода вызванной поляризации // Электрометрические исследования на рудных месторождениях / Ин-т геофизики УрО АН СССР. — Свердловск, 1988. — С. 18—19. — Рукопись деп. в ВИННИТИ 18.01.88. № 387—В-88.
3. Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации. 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1980.—391 с.

- Редозубов А. А. К вопросу применения электроразведки в анизотропных породах // Вопросы рудной геофизики: Труды Свердл. горного ин-та, вып. 105.— Свердловск, 1973.— С. 18—32.
- Редозубов А. А., Смыков С. С. Использование анизотропии электропроводности при изучении рудных полей южнодаванских месторождений // Геология метаморфических комплексов Урала, вып. 127.— Свердловск: изд. УПИ, 1976.— С. 106—111.
- Редозубов А. А., Смыков С. С. Методическое руководство по картированию анизотропных пород электроразведкой / Свердл. горный ин-т.— Свердловск, 1989.— 101 с.— Рукопись деп. в ВНИИТИ 15.03.89. № 272—В 89.
- Шейнманн С. М. Элементы теории электроразведки анизотропных сред // Мат-лы ВСЕГИ. Геофизика, 9—10.— М.— Л.: Госгеолиздат, 1941.— С. 105—114.
- Habberjam G. M. The effects anisotropy on square array resistivity measurements // Geophysical prospecting, vol. 20, 1972, n. 2, pp. 247—269.

УДК 550.837

A. K. Козырин, A. I. Минцев

КАРОТАЖ РУДНЫХ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛОННЫ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Полноценные поиски и разведка бурением месторождений полезных ископаемых, в частности, медноколчеданных и полиметаллических руд, возможны только с применением геофизических исследований скважин (ГИС) и скважинной геофизики. Основной составной частью ГИС является каротаж — совокупность геофизических методов геологического документирования разрезов скважин, тогда как скважинная геофизика предназначена для исследования околостволовых, междустволовых и подзабойных пространств скважин. Для решения задач каротажа применяют соответствующие комплексы методов. В случае рудных месторождений минимальный комплекс состоит из каротажа по методу сопротивлений и метода электродных потенциалов — МЭП или естественного поля — ПС.

При проведении геофизических исследований в скважинах или с использованием скважин, как, например, в методе заряда — МЗ, зонды, электроды и приборы опускают в скважины и перемещают в них при помощи геофизических кабелей — КГ. В практике эта операция не так уж редко становится невозможной вследствие обрушения стенок скважины или сильного выпадывания ее ствола, вплоть до отрицательной кривизны. В таких случаях проникнуть в скважину возможно только с помощью колонны бурильных труб. Однако разработанные к настоящему времени способы каротажа на бурильных трубах предназначены лишь для исследования скважин турбинного и роторного бурения в процессе их проводки [9]. При этом беспроводный способ и система с хранением информации в автономном скважинном приборе требуют применения весьма сложной аппаратуры.

Поэтому несколько лет тому назад трест «Уралцветметразведка», на некоторых поисковых и разведочных участках которого сложилась аналогичная описанной ситуация, обратился к кафедре рудной геофизики УГИ с предложением разработать в минимальные сроки максимально простой способ производства каротажа по методу сопротивлений, а также метода заряда [4] для производства исследований в этих технологически сложных условиях. Впоследствии каротаж по методу сопротивлений, для краткости обозначенный КС КБТ [5], был дополнен до минимального комплекса по просьбе того же треста методом электродных потенциалов на бурильных трубах — МЭП КБТ.

Метод КС КБТ был разработан в четырех вариантах, которые далее обозначаются упомянутой аббревиатурой с указанием номера варианта. В КБТ-1 и КБТ-2 по вольт-амперной схеме измеряется сопротивление R_d колонны бурильных труб, находящейся в буровом рас-

твое, в функции глубины погружения H точки записи (рис. 1, а). Желательно при этом отключить заземление станка при измерениях. Измерения проводят поточечно при остановке бурового станка, поэтому пра-

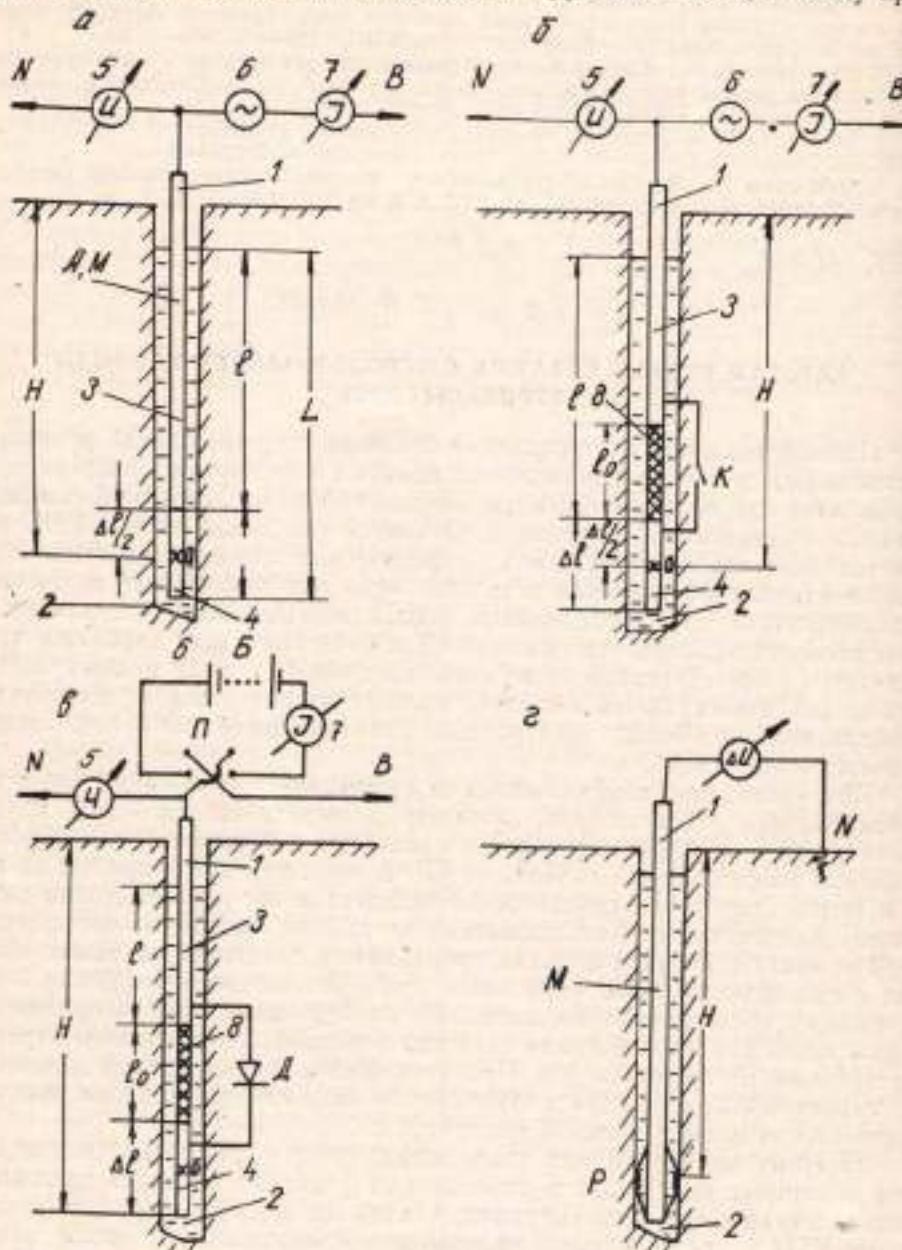


Рис. 1. Схемы КБТ:

а — КБТ-1, КБТ-2; б — КБТ-3; в — КБТ-4; г — МЭП КБТ.

1 — колонна бурильных труб, 2 — скважина и буровой раствор в кей, 3 — верхняя часть колонны, 4 — нижняя часть колонны, 5 — прибор для измерения разности потенциалов, 6 — источник питания, 7 — трапер для измерения силы тока, 8 — полупроводниковый диод, Р — переключатель направления тока, Р — рессоры, засущие скользящие контакты

вила техники безопасности не нарушаются. В КБТ-1 за точку записи принимают оконечность колонны, а в КБТ-2, КБТ-3 и КБТ-4 — середину нижней ее части, длина которой Δl заранее принимается в зави-

сности от требуемой детальности расчленения разреза скважины, как это будет ясно из дальнейшего. В КБТ-3 измерения производят несколько иначе, чем в КБТ-2. Практически измерения ведут как на постоянном, так и на переменном токе. При этом в случае КБТ-3 класс точности измерительного прибора должен быть не ниже 0.05. Измерения на переменном токе, однако, предпочтительней, т. к. при этом влияние промышленных и других помех меньше, чем при измерениях на постоянном токе. Удобно в качестве генераторного устройства использовать аппаратуру АНЧ-1 или АНЧ-3, а для измерений применять цифровые вольтметры типа Щ4313 или другие, подобные им, с небольшими изменениями во входном блоке. На кафедре рудной геофизики была также разработана и построена специальная аппаратура для производства КБТ [8]. Непосредственное использование для каротажа значений R_L невозможно, т. к. кривая $R_L = \rho(L)$ совершенно не дифференцирована и представляет собой практически прямую с малым по абсолютной величине градиентом $\frac{dR_L}{dL} < 0$. Лишь на рудном подсечении величина R_L может резко измениться, однако при этом отмечается только верхний контакт подсечения, а последующие рудные подсечения отмечаются все слабее или вообще уже не отмечаются. Несколько лучше рудные подсечения фиксируются в КБТ-1. В этом варианте КБТ кривая R_L пересчитывается в кривую КС по формуле

$$\rho_n = K \cdot R_L, \quad (1)$$

где K — величина, аналогичная коэффициенту зонда.

Так как прямолинейная колонна бурильных труб может рассматриваться как линейный электрод, поскольку

$$L \gg d, \quad (2)$$

где d — диаметр колонны, то без учета границы раздела земля — воздух для вертикальной скважины

$$K = \frac{2\pi L}{\ln 2L/d}, \quad (3)$$

Граница раздела земля — воздух увеличивает потенциал колонны, но удвоение для цилиндрического электрода происходит лишь в том случае, когда он располагается на поверхности земли, будучи погружен в нее на половину при $d=0$. В случае вертикальной скважины с учетом границы раздела земля — воздух имеем [5]:

$$K = \frac{2\pi L}{\ln 4L/d}. \quad (4)$$

Погрешность за счет неучета границы выражается формулой

$$\delta \% = \frac{100}{1 + \ln \frac{2L}{d} / \ln L}. \quad (5)$$

Она медленно убывает с ростом L и невелика. Например, при $L/d = 500$ $\delta = 10\%$. Поэтому в формуле (1) значение K можно принять по формуле (3), так же, как и по формуле (4). При этом нужно учитывать, что наклоном скважины, согласно лабораторным опытам, выполненным Н. В. Блинковой [1], можно пренебречь, если зенитный угол $\alpha \leq 45^\circ$.

Формула (5) показывает, что при касании концом колонны неоднородности сколь угодно высокого сопротивления ее потенциал меняется

невзначительно. Тем более это справедливо при приближении колонны к такой неоднородности. Напротив, проводники будут проявляться резко, теоретически вплоть до $\rho_n = 0$ при удельном электрическом сопротивлении (УЭС) среды $\rho = 0$. На диаграммах КБТ-1 фиксируется верхний и несколько с меньшей амплитудой g_L нижний контакт первого сверху рудного интервала, но последующие рудные подсечения отмечаются все менее и менее отчетливо. Кривая КБТ-1 на рудовмещающих горных породах, как и кривая R_L , совершенно не дифференцирована и представляет собой прямую линию, наклоненную в противоположную сторону в сравнении с кривой R_L . Это объясняется тем, что в сравнении с кривой R_L с увеличением L уменьшается, хотя и весьма медленно, влияние скважины, так, что $\rho_n \xrightarrow{L \rightarrow \infty} \rho$. Таким образом,

вариант КБТ-1 не решает задачи каротажа, но, как показали А. К. Козырин и Н. В. Блинкова, пригоден для определения среднего УЭС горных пород, слагающих разрез скважины [1], что бывает весьма важно для полевой и скважинной геофизики, в последнем случае — главным образом для оценки размеров рудных тел методом электрической корреляции — МЭК [2].

В КБТ-2, как и в КБТ-1, измеряется сопротивление колонны бурильных труб, но определяется сопротивление $R'_{\Delta l}$ нижней ее части, образующее вместе с сопротивлением R'_l верхней части, длину которой обозначим через l (см. рис. 1а), параллельную цепь. Таким образом,

$$L = l + \Delta l, \quad (6)$$

а величина $R'_{\Delta l}$ выражается формулой

$$R'_{\Delta l} = \frac{R'_l R_L}{R'_l - R_L}. \quad (7)$$

В однородной и изотропной среде линейные электроды длиной l и Δl имеют сопротивления:

$$R_l = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{2l}{d}, \quad (8)$$

$$R_{\Delta l} = \frac{\rho}{2\pi \cdot \Delta l} \cdot \ln \frac{2\Delta l}{d}, \quad (9)$$

поскольку справедливо неравенство

$$l \gg \Delta l \gg d. \quad (10)$$

В силу левой части этого неравенства R'_l практически равно R_l . Значение $R'_{\Delta l}$ определяется подстановкой в (6) значений сопротивлений, выраженных формулой (8) и формулой

$$R_{\Delta l} = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d}. \quad (11)$$

Вычисляя $R_{\Delta l}/R'_l$, по формуле (1) находим без учета границы раздела земля — воздух

$$\rho_n = 2\pi \cdot \frac{R_l R_{\Delta l}}{R_l - R_{\Delta l}} \cdot \frac{\Delta l}{\ln \frac{2l}{d}}. \quad (12)$$

Аналогичным способом выводится формула для КС с учетом границы

$$\rho_n = 2\pi \cdot \frac{R_L R_l}{R_l - R_L} \cdot \frac{\Delta l}{\ln \frac{4l}{d}}. \quad (13)$$

Кривые КС КБТ-2 хорошо расчленяют разрез по УЭС, отчетливо выделяют низкоомные, особенно рудные интервалы, в основном сопоставляются с кривыми КС однозелектродного зонда [1], имеющего размеры Δl и d , а, следовательно, с кривыми обычного потенциал-зонда. Основной недостаток КБТ-2 состоит в том, что в случае горных пород очень низкого или очень высокого сопротивления разность $\sigma = R_i - R_L$, входящая в знаменатель формул (7), (12) и (13), может лежать за пределами чувствительности прибора, измеряющего потенциал. В определенных условиях при этом КС практически даже при $\rho \approx 0$ обращается, как и при $\rho = \infty$, в бесконечно большую величину. Такое явление может наблюдаться в том случае, когда при перемещении нижней части колонны внутри объекта практически нулевого сопротивления величина $R_i \neq 0$. Типичным примером является обсаженный интервал скважины, длина которого несколько больше Δl [3]. Однако, если $R_i \rightarrow 0$, то $R_{\Delta l} \rightarrow 0$ и, следовательно, $\rho_n \rightarrow 0$, если только σ — достаточно большая величина. Кроме того, всегда можно различить предельные случаи $\rho = 0$ и $\rho = \infty$ по форме кривых R_i или КБТ-1. Поэтому на практике кривые КС КБТ-2 всегда при интерпретации результатов рассматривают совместно с кривыми КС КБТ-1 или чаще с кривыми R_L . Форма кривых КС КБТ-2 была подробно изучена в случае пластов различного сопротивления А. И. Минцевым [3].

Основные недостатки КБТ-2 обусловлены тем, что верхняя часть колонны и мысленно выделяемая ее нижняя часть образуют единое целое. Для устранения этого недостатка был разработан метод КБТ-3, который конструктивно отличается от КБТ-2 отрезком колонны из изолирующего материала, например, металлопластовой трубы, разделяющей ее верхнюю и нижнюю части (см. рис. 1, б). При этом обеспечивается строгость неравенства $R_i > R_L$, т.е. неравенство нулю величины σ в любых измерительных ситуациях, и, с другой стороны, устраивается влияние взаимоиндукции частей колонны, которое при каротаже в варианте КБТ-2 может неконтролируемо меняться. Таким образом, при измерениях в КБТ-3 значение $R_{\Delta l}$ вычисляют по формуле

$$R_{\Delta l} = \frac{R_L \cdot R_i}{R_i - R_L}, \quad (14)$$

а КС — по формуле

$$\rho_n = K \cdot R_{\Delta l}, \quad (15)$$

где K следует вычислять без учета границы раздела земля — воздух:

$$K = \frac{2\pi \cdot \Delta l}{2\Delta l \ln \frac{d}{d}} \quad (16)$$

Диаграммы КБТ-3 точно сопоставляются с кривыми КС однозелектродного зонда, имеющего размеры Δl и d , поскольку даже при небольшой длине изолирующей штанги будет справедлива теория однозелектродного каротажа [1]. Вариант КБТ-3 имеет тот очевидный недостаток, что требует при измерениях двух спусков колонны бурильных труб в скважину. Этого недостатка лишен следующий вариант метода — КБТ-4.

В КБТ-4, работающем только на постоянном токе, гальваническое соединение или разъединение осуществляется полупроводниковым диодом, включенным между верхней и нижней частями металлической колонны (см. рис. 1, в). Для управления диодом в схему введен переключатель направления тока. Практически диод должен быть помещен в канал изолирующей штанги. При одном направлении тока измеряют

сопротивление R_L , а при другом — сопротивление $R_{\Delta I}$. Искомое сопротивление $R_{\Delta I}$ определяют по формуле

$$R_{\Delta I} = \frac{R_I \cdot R_L}{R_I - R_L} - R_o, \quad (17)$$

где R_o — сопротивление диода.

Так как R_o зависит от силы тока I_o , проходящего через него, то предварительно для данного диода должен быть снят график $R_o = f(I_o)$. Значение I_o определяется по формуле

$$I_o = \frac{U_L}{R_{\Delta I}}, \quad (18)$$

$$R_{\Delta I}' = \frac{R_I \cdot R_L}{R_I - R_L} \quad (19)$$

и U_L — потенциал колонны при замкнутых через диод верхней и нижней частей колонны.

Преимущество КБТ-4 перед КБТ-3 состоит в том, что в этом случае достаточно одного спуска колонны в скважину. При этом на каждой точке производится два измерения — R_I и R_L . Однако в этом варианте метода возрастают влияние помех от ближайших токов, естественного поля и вызванных потенциалов. В условиях производства КБТ-4 не применялся, были произведены лишь лабораторные эксперименты и опытные работы в скважинах.

Метод МЭП-КБТ, который необходим в комплексе каротажа для классификации аномалий проводимости на «рудные» и «нерудные», выполняется с простым устройством, которое состоит из трех или четырех скользящих контактов, смонтированных на трех или четырех рессорах [6] соответственно, укрепленных на нижней оконечности колонны бурильных труб, от которой должна быть отсоединенена колонковая труба. Потенциал контактного электрода, равный потенциальному колонны, измеряется относительно электрода N , установленного как и в случае одноэлектродного варианта МЭП [10], на поверхности земли (см. рис. 1, г). Таким образом, электрод M в МЭП КБТ состоит из контактного электрода, площадь которого относительно весьма мала, и колонны бурильных труб, которая одновременно является каналом связи для передачи полезного сигнала. Потенциал бинарного электрода, образующегося при соприкосновении электрода M с рудными подсечениями, зависит при прочих равных условиях от соотношения площадей S_1 электрода M и активной площади S_2 рудного объекта:

$$\bar{S} = \frac{S_2}{S_1}, \quad (19')$$

поскольку величина фиксируемой разности потенциалов определяется [7] формулой

$$\Delta U = \frac{\Delta U_1 + \bar{S} \cdot \Delta U_2}{1 + \bar{S}}. \quad (20)$$

В этой формуле ΔU_1 и ΔU_2 — соответственно электродные потенциалы электрода M и рудного объекта, измеренные относительно электрода сравнения N .

Поскольку активная площадь колонны бурильных труб весьма значительна, постолько необходимо оценить минимально допустимое значение $S_{2 \min}$ активной поверхности рудного объекта, при которой он еще может быть выявлен данным методом. При этой оценке следует

исходить из амплитуды A кривой МЭП КБТ на рудном подсечении и уровня электрических помех $\Delta U_{\text{ном}}$, на фоне которых она вырисовывается. Можно показать, что

$$S_{2\min} = \frac{A}{A_{\max} - A} S_1. \quad (21)$$

Входящая в эту формулу максимальная амплитуда

$$A_{\max} = \Delta U_2 - \Delta U_0, \quad (22)$$

где ΔU_0 — относительный собственный потенциал зонда МЭП, в данном случае — колонны с контактными электродами. В идеальном случае $\Delta U_0 = 0$ и $A_{\max} = \Delta U_2$. Этого значения фактическая амплитуда A достигает при $S_2 \rightarrow \infty$ или при $S_1 \rightarrow 0$. Очевидно рудное тело будет выявляться при достаточно сильной правой части неравенства

$$A_{\max} \geq A > \Delta U_{\text{ном}}. \quad (23)$$

Таким образом,

$$A = n \cdot \Delta U_{\text{ном}} \quad (24)$$

при $n > 1$. Целесообразно принять $n = 3$. Величина S_1 определяется длиной колонны бурильных труб и диаметром последних. Метод МЭП КБТ, как и метод КС КБТ в различных вариантах, опробовался в реальных условиях и получил применение в производстве геофизических работ.

На рис. 2 представлены результаты применения каротажа КС КБТ и МЭП КБТ в производственных условиях и проведено их сравнение с результатами обычного каротажа КС и МЭП. На практике наиболее часто применяется метод КС КБТ-2, так как он дает неплохие результаты и наиболее прост в исполнении, поскольку не требует никаких дополнительных приспособлений к колонне бурильных труб. В рассматриваемом примере работы выполнялись по скв. 2530 Ново-Учалинского медноколчеданного месторождения. Из рисунка можно видеть, что кривая КС КБТ-2 хорошо соответствует кривой КС с зондом N1, OM9,5A, хотя отрезок $\Delta l = 18$ м в данном случае и больше размера градиент-зонда. Все основные геоэлектрические особенности разреза скважины подчеркиваются одинаково обеими кривыми КС. То же самое можно сказать и о кривых МЭП КБТ и МЭП: они имеют характерные особенности над рудным интервалом. Нижняя граница сплошного рудного тела, подсеченного скважиной в интервале 940—1090 метров, по результатам каротажа КС не выделяется, так как ниже идут метасоматиты с вкрапленностью руды, но зато по результатам МЭП хорошо фиксируется. Приведенный пример характеризует возможности использования каротажа КБТ в тех случаях, когда традиционные геофизические методы не работают.

Описанные методы каротажа на бурильных трубах являются одноэлектродными разновидностями генетрационного каротажа, рассчитанными на изучение различных рудных скважин, особенно глубоких. Следует подчеркнуть, что разработка метода КС КБТ продолжает многолетние исследования в области одноэлектродного каротажа, выполненные на геофизическом факультете УГИ.

Кроме тех случаев, которые были указаны выше, методы КС КБТ и МЭП КБТ применимы для каротажа слабонаклонных, сильно искривленных или восстающих скважин подземного бурения, а также и в других аналогичных обстоятельствах.

Описанные выше методы наиболее близки к тем видам каротажа, которые разработаны для исследования в процессе бурения скважин нефтяных и газовых месторождений и используют в качестве электри-

ческого канала связи колонну бурильных труб. Однако они отличаются от последних с принципиальной, технической и методической точек зрения, а также по области применения, которая была указана выше. Вместе с тем методы КБТ могут быть применены и в процессе бурения

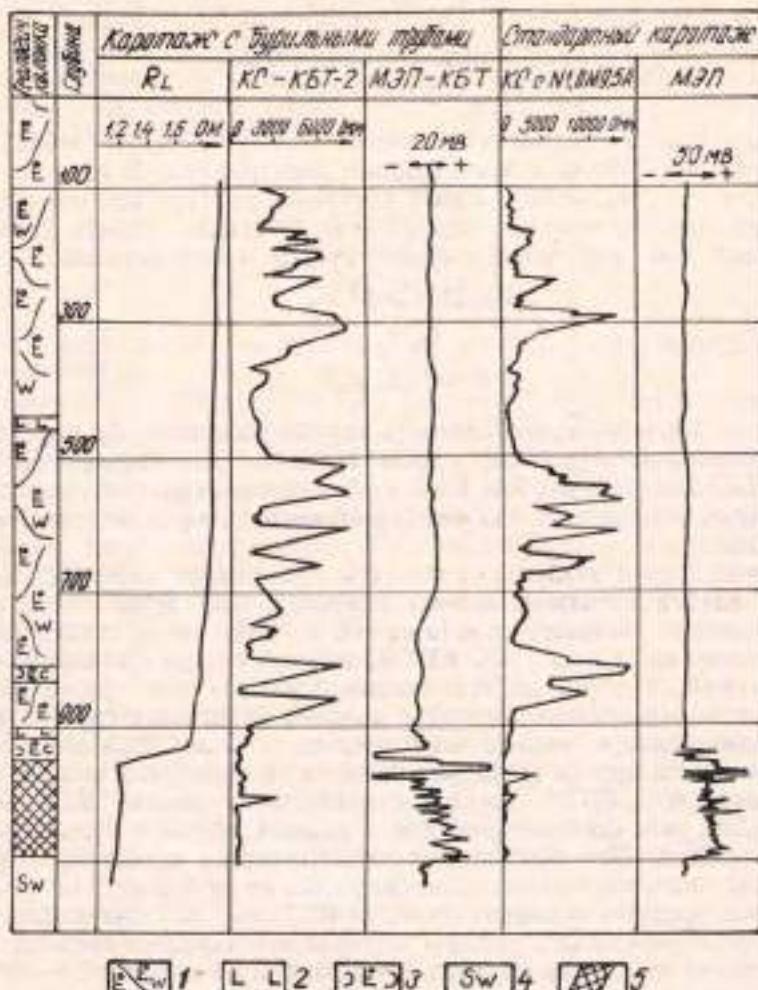


Рис. 2. Пример практического использования каротажа КБТ:

1 — базальтовый порфирит; 2 — диабазовый порфирит; 3 — туф базальто-вого порфирита; 4 — серпентин-кварцевый метасомит; 5 — сплошная полимеди-ная руда

рудных скважин. Действительно, во-первых, понятие «скважина» находится в бурении подразумевает не только сам процесс разрушения ее забоя буровым инструментом, но и неизбежные при этом слука-подъемные операции, во время которых может выполняться КБТ без так называемых «непроизводительных потерь». Во-вторых, изложенные принципы каротажа на бурильных трубах могут при соответствующей разработке использоваться для исследования скважин в процессе собственно их бурения. Однако эти идеи далеки еще от реализации по ряду причин. В числе их следует обратить внимание на сложный и многообразный состав потенциала колонны бурильных труб $U_{6,t}$ во время бурения скважины. В общем случае

$$U_{6,t} = \sum U_i, \quad (25)$$

Где под знаком суммы стоят потенциалы от ближайших токов, токов утечки электромоторов станка и других источников тока, вызванные, естественные и электродные потенциалы, потенциалы фарадеевского выпрямления, потенциалы гальванокоррозии, потенциалы, связанные с циркуляцией промывочной жидкости и с работой соседнего бурового станка, потенциалы пьезоэффекта и обусловленные вращением бурильных труб в магнитном поле земли, термопотенциалы и т. д. В зависимости от метода один из потенциалов или даже несколько выступают в качестве полезного сигнала, а остальные, таким образом, — как помехи. При изменении метода статус потенциалов меняется. Следует отметить, что на образование термодинамических потенциалов в процессе бурения было обращено внимание, по-видимому, впервые Ю. Ю. и В. Н. Циокиними, которые также предложили их использовать для каротажа. Естественно, что при спуско-подъемных операциях число слагаемых в формуле (25) уменьшается, и, наоборот, помехи возрастают при работе бурового станка.

Далее наиболее существенным является то, что каротаж в процессе собственно бурения требует разработки и построения сложной техники, которая должна фиксировать измеряемую величину в течение всего времени бурения скважины. Цель такой фиксации и способ ее реализации не вполне ясен. Скорее всего аппаратура должна сигнализировать о встрече буровым инструментом рудного интервала. Однако в таком случае задача может быть решена несравненно проще: для этого достаточно, например, использовать измерение сопротивления цели колонны бурильных труб — электрод *V*. Конечно, и в этом случае необходима разработка сигнальной аппаратуры, которая имела бы несколько ступеней срабатывания, прежде всего в зависимости от текстурно-структурных особенностей руд.

В настоящее время на кафедре рудной геофизики УГИ такая методика разрабатывается. Разрабатываются также и другие методы КБТ, в частности ПС — КБТ. К сожалению, сейчас мы не имеем опытно-производственной базы и не контактируем с такими организациями, которые были бы заинтересованы в этих разработках и могли бы их финансировать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козырин А. К., Блинкова И. В. Теория однозадачного каротажа // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. — Свердловск, 1984. — С. 30—34.
2. Козырин А. К. Электрическая корреляция разрезов скважин. — М.: Недра, 1985.—138 с.
3. Козырин А. К., Минцев А. И. Методические рекомендации по применению каротажа КС с колонной бурильных труб // Изв. вузов. Геология и разведка, 1988.—Деп. в ВИЭМС 8.09.88.—№ 628.—М.Г.—23 с.
4. Козырин А. К., Минцев А. И., Блинкова И. В. Метод заряда с использованием колонны бурильных труб // Геофизические методы поисков и разведки рудных месторождений. — Свердловск, 1989.—С. 66—69.
5. Козырин А. К., Минцев А. И. Применение каротажа с колонной бурильных труб в пределах горных вывалов горнодобывающих предприятий // Изв. вузов. Горный журнал.—1989.—№ 2.—С. 21—25.
6. Козырин А. К., Циокина В. Н. Способ каротажа по методу электродных потенциалов в бурильных трубах: ИЛ/ЦНТИ.—№ 439—90.—Свердловск, 1990.—3 с.
7. Козырин А. К. Элементарная теория метода электродных потенциалов // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. — Свердловск, 1990.—С. 70—73.
8. Минцев А. И. Прибор для выполнения геофизических исследований на постоянном токе в условиях промышленных помех: ИЛ/ЦНТИ.—705—89.—Свердловск, 1989.—4 с.
9. Маджанов А. А. Измерение геофизических и технологических параметров в процессе бурения скважин. — М.: Недра, 1983.—267 с.
10. Семенов А. С. и др. Метод электродных потенциалов. — М.: Геотекско, 1951.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА И СЕЙСМОАКУСТИКА

Теоретические и методические вопросы применения сейсмической разведки для решения задач инженерной геологии начали разрабатываться в Свердловском (ныне Уральском) горном институте с 1967 года. В последние годы в этом направлении выполнена группа исследований, позволяющая говорить о создании на кафедре структурной геофизики нового научного направления в разведочной геофизике — инженерной сейсморазведки. Свидетельством этому являются докторская диссертация В. И. Бондарева (1978 г.), шесть кандидатских диссертаций (В. Н. Агеев, 1974 г.; В. Б. Писецкий, 1976 г.; Б. М. Александров, 1979 г.; Н. И. Теряев, 1984 г.; С. М. Крылатков, 1986 г.; В. К. Лисунов, 1991 г.) и множество научных публикаций, докладов и сообщений, сделанных сотрудниками кафедры, а также большое число дипломных и курсовых проектов студентов специализации по этому направлению.

Тема исследований возникла по инициативе двух крупных уральских проектно-изыскательских организаций — УралТИСИЗ и УралТЭП — в 1967—1968 гг. На первых шагах ряд ученых кафедры структурной геофизики (Бондарев В. И., Шмаков В. И., Агеев В. Н.) изучали возможности применения сейсмических методов для определения физико-механических свойств несkalьных грунтов на территории Урала, Западной Сибири, Украины и других регионов. При этом большое внимание уделялось разработке методики полевых наземных сейсмических наблюдений. Совершенствовались существующие способы обработки годографов преломленных и рефрагированных волн для определения скоростного строения среды. Решались вопросы, связанные с теоретическим обоснованием вида связи между сейсмическими и физико-механическими свойствами несkalьных грунтов. Анализ экспериментальных данных позволил установить ряд корреляционных зависимостей между важнейшими физико-механическими параметрами несkalьных грунтов. Названные вопросы нашли свое отражение в ряде работ Бондарева В. И. [1] и в диссертационной работе Агеева В. Н. применительно к песчаным грунтам Западной Сибири и Украины. В. И. Бондаревым совместно с В. Б. Писецким [2], затем с Н. П. Курандиной, А. М. Гореликом и другими был проведен анализ и сформулированы главные требования к специализированной сейсмической аппаратуре, пред назначенной для инженерно-геологических исследований в строительных целях.

Специфика предложенного метода исследований требовала существенно иного, чем в сейсморазведке КМПВ, подхода к обработке получаемых результатов. Учитывая это, большое внимание было уделено детальному изучению распределения истинных скоростей распространения упругих волн в разрезе с последующей оценкой физико-механических свойств грунтов. На первом этапе это сводилось к использованию только простейших средств автоматизации расчетов (палетки, таблицы). Необходимые графики и таблицы были одобрены Госстроем РСФСР и изданы в 1974 г. [3]. На втором этапе это привело к созданию отдельных программ на ЭВМ, упрощающих изыскание сложные вычисления. Эти программы получили широкое распространение в организациях Госстроя РСФСР и других министерств и ведомств. Однако ориентация на ЭВМ типа «Нанри-2», которыми были в то время оснащены изыскательские организации, не позволяла использовать более сложные, но и более эффективные алгоритмы обработки

исходной информации. Данные обстоятельства привели к созданию комплексов программ для полуавтоматической обработки сейсмической информации «Грунт», затем «Грунт-2» (Бондарев В. И., Писецкий В. Б., Крылатков С. М.). Эти системы использовались многими изыскательскими организациями страны.

В конце 70-х гг. впервые решается задача теоретического обоснования и экспериментального опробования методики изучения скоростного строения среды по наблюдениям поверхностных волн типа Релея и Лява (Бондарев В. И., Писецкий В. Б., Крылатков С. М.). Одновременно ведутся разноплановые исследования в области инженерной сейсморазведки: разрабатывается экспресс-метод оценки свойств грунтов в движении (при участии В. В. Болина), применяется сейсмический метод для оценки физико-механических свойств торфяных грунтов (Б. М. Александров). Разрабатываются теоретико-экспериментальные зависимости между физико-механическими и сейсмическими параметрами для глинистых и песчаных грунтов (при участии Н. И. Теряева). Решаются прямые и обратные задачи метода преломленных волн для двухмерно-неоднородных сред (Крылатков С. М., Рычков С. А.).

Созданная в рамках этого научного направления технология использования инженерной сейсморазведки, а также сейсмоакустики для оценки физико-механических свойств грунтов нашла широкое применение при производстве инженерных изысканий на суше и на море. Уже в 1969 г. в УралТИСИЗе, а затем в УралТЭПе началось производственное внедрение разрабатываемой методики сейсмических исследований в комплексе полевых инженерно-геологических методов исследования грунтов. В последующие годы в изыскательских организациях страны накоплен значительный опыт таких исследований для решения сложных инженерно-геологических задач на стройплощадках крупных тепловых и атомных электростанций, многих объектах промышленного и гражданского строительства. Результатом этого явились разработанные с участием ученых кафедры нормативные документы [3, 4, 5], действующие в изыскательских организациях страны.

Созданное на кафедре научное направление состоит из следующих основных частей:

1. Оригинальная теория и методика решения прямых и обратных задач сейсморазведки по гидографам первых волн.

В рамках этого введен в рассмотрение и заняли серьезное место в исследованиях непрерывная и слоисто-непрерывная сейсмические модели среды. Для решения прямой задачи использована идея замены неоднородной модели среды до глубины максимального проникания сейсмического луча некоторой эффективной моделью с линейным законом изменения скорости с глубиной. Получены аналитические выражения и проанализированы характерные особенности гидографов преломленно-рефрактированных волн для полутора десятков основных моделей среды типа неоднородный слой на неоднородном полупространстве. Для этих же моделей изучены особенности вертикальных гидографов первых волн (для методики вертикального сейсмического профилирования). Разработаны методы интерпретации гидографов рефрактированных волн, основанные на последовательной совместной аппроксимации небольшого интервала (элемента) гидографа и всего гидографа от начальной точки до выбранного интервала функцией заданного вида, соответствующей линейному или более сложному закону изменения скорости с глубиной. Впервые для интерпретации одиночного гидографа и системы гидографов первых волн применен аппарат линейного программирования. Созданы способы определения скоростного разреза среды по непрерывному вертикальному гидографу первых волн.

2. Теоретико-методические основы и экспериментальное обоснование использования фазовых гидографов поверхностных волн релеевского типа и волны типа Лява с целью получения информации о строении среды по скорости распространения поперечных волн.

В частности, построена теория, проведены необходимые расчеты и проанализированы так называемые дисперсионные кривые волн типа Релея и Лява для некоторых основных сейсмических моделей среды типа неоднородный слой на неоднородном полупространстве. Предложена, теоретически обоснована и практически подтверждена методика определения скоростей распространения поперечных волн по разрезу на основе экспериментально полученных зависимостей фазовых скоростей поверхностных волн типа Релея или Лява от их видимого периода (частоты). Разработана методика возбуждения и регистрации таких волн в инженерной сейсморазведке.

3. Новая сейсмическая модель песчано-глинистого грунта, позволяющая на основе ограниченного объема дополнительной информации установить теоретико-экспериментальные зависимости между параметрами физико-механических свойств грунтов и их сейсмическими характеристиками.

4. Комплекс оригинальных методических приемов проведения полевых экспериментальных исследований как на поверхности земли, так и с использованием инженерно-геологических скважин.

Решены технические и технологические задачи, связанные с успешным проведением наземных и скважинных работ сейсмическим методом в инженерно-геологическим целях. Составлены и опубликованы методические рекомендации, инструкции по наземным и скважинным методам инженерно-сейсмических исследований, рекомендации по получению и применению при изучении физико-механических свойств грунтов результатов наблюдений поверхностных волн.

5. Организационные мероприятия (обучение специалистов, реклама и т. п.) по внедрению разработанной технологии в десятки организаций, выполняющих инженерно-геологические исследования.

Обучение специалистов проведено на организованных при СГИ (1975, 1977 гг.) курсах повышения квалификации инженеров-геофизиков по инженерной сейсморазведке. Такие курсы успешно закончили более 60 человек, представителей многих изыскательских организаций страны. Инструкции, рекомендации, алгоритмы и программы для ЭВМ различного типа (Наира-2, Наира-3-3, ЕС-1020, ЕС-1022, БЭСМ-6) постоянно рассыпались по заявкам многочисленных организаций, занимающихся инженерно-геологическими изысканиями. Во многих из них эти разработки нашли успешное применение.

С течением времени, по мере накопления опыта и фактического материала, изменялась оценка различных сторон разработанной теории и методики. Уточнялись и видоизменялись способы получения и обработки информации. По мере изменения материальной базы изыскательских организаций перерабатывались методики и программные средства обработки сейсмических данных. Этот процесс продолжается и в настоящее время, что свидетельствует о жизненности созданного 25 лет назад научного направления — инженерной сейсморазведки.

Перспективы развития инженерной сейсморазведки связаны со следующими направлениями работ:

- разработка и внедрение цифровой компьютеризированной многоканальной портативной регистрирующей аппаратуры;
- усовершенствование методики наблюдений, в частности, выполнение работ по плотной сети наблюдений, внедрение пространственных систем наблюдений;
- разработка машинных методов решения прямых и обратных за-

дач на персональных ЭВМ, включая процедуры на основе цифровой томографии, а также развитую систему отображения данных и результатов обработки;

— разработка таких сторон теории, как учет горизонтальных неоднородностей среды, получение оценок сейсмических и физико-механических характеристик среды в зонах волноводов.

Можно ожидать более рационального сочетания инженерно-сейсмических исследований с геологическими методами, расширения областей применения инженерной сейсморазведки, в частности, для решения экологических проблем и проведения мониторинга.

В начале восьмидесятых годов в СССР начались интенсивные геолого-геофизические работы по освоению месторождений нефти и газа на шельфе. В связи с необходимостью проведения буровых работ и дальнейшего освоения месторождений возникла объективная необходимость в проведении инженерно-геологических и геофизических исследований на шельфе. Для разработки и создания необходимой техники и технологии было создано Всесоюзное морское научно-производственное объединение по морской инженерной геологии и геофизике (ВМНПО «Союзморинжгеология», г. Рига). Один из авторов был приглашен на работу в качестве руководителя объединения по геофизическому направлению. В рамках этого объединения были выполнены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по адаптации ранее развитых идей в области инженерной сейсморазведки применительно к специфическим условиям морских работ и морских грунтов. На основе этих исследований под руководством одного из авторов была создана специфическая ветвь инженерной геофизики — морская инженерная геофизика. Важнейшей компонентой этого комплекса является цифровая многоканальная сейсмоакустика. Для выполнения полевых работ впервые в мире на основе отечественной сейсморазведочной аппаратуры типа «Прогресс-2» была создана многоканальная (8 или 12 каналов) цифровая сейсмоакустическая аппаратура, получившая название МЦСАК-2. Она позволяла в движении выполнять сейсмоакустические зондирования в частотном диапазоне до 750 (при 8 каналах) или до 500 Гц (при 12 каналах). Опытное производство объединения выпустило около 10 экземпляров такой аппаратуры. Для обработки и интерпретации получаемых материалов в объединении на базе программного комплекса СЦЗ-3 был создан специализированный комплекс, получивший название СЦС-3 ИНЖГЕО. На базе этого аппаратурного и программного комплексов была создана промышленная технология, на базе которой производственные организации объединения на Балтийском, Черном, Баренцевом, Карском и Охотском морях в период 1985—1990 годы выполнили более 25 тыс. км профилей. По мере увеличения объемов выполняемых работ становилось очевидным, что ориентация на централизованную обработку в г. Риге для производственных экспедиций, расположенных в Одессе, Мурманске и Южно-Сахалинске, становится обременительной. Возникла потребность создания локальных обрабатывающих систем, ориентированных на возможности экспедиций. Для решения этой задачи под руководством В. И. Бондарева уже в составе кафедры структурной геофизики Свердловского горного института была сформирована группа специалистов, силами которой в 1990—1991 гг. разработан, создан и введен в эксплуатацию в Одессе, Южно-Сахалинске и Мурманске аппаратурно-методический комплекс для обработки и интерпретации в интерактивном режиме данных цифровой многоканальной сейсмоакустики. Основу этого комплекса составляют: аппаратурно-технологическая база; программно-методическая часть.

Аппаратурно-технологическая база включает в себя: персональный

компьютер типа РС-АТ-286/386; два магнитофона типа СМ-5309; плоттер типа ЭСПУ-К (ЭСПУ-2); плату (контроллер) связи; служебное матобеспечение.

Программно-методическая часть содержит: мобильную обрабатывающую сейсмоакустическую систему цифровой сейсмоакустики (МОСС-МЦСАК); руководство геофизику-интерпретатору; руководство аппаратурно-методического комплекса.

Обрабатывающая система МОСС-МЦСАК позволяет по исходным полевым записям в мультиплексной форме выполнить всю первичную обработку (от демультиплексации до оценки качества полевых записей), осуществить в интерактивном режиме выделение и корреляцию гидографов отраженных волн и выполнить все необходимые дальнейшие расчеты для получения следующих конечных материалов: временной и глубинный разрезы в штриховой форме, графики пластовых скоростей по профилю в различной форме, графики показателей физико-механических свойств грунтов, итоговую информацию по всем параметрам в табличной форме по всем зондированиям.

Принципиально новой в системе МОСС-МЦСАК является идеология определения эффективных скоростей по совокупности гидографов либо в зондировании (от разных границ), либо по совокупности зондирований (от одного горизонта). Этот методический прием позволяет существенно повысить точность и надежность определения по этим данным пластовых скоростей.

Определение пластовой модели среды по совокупности гидографов в зондировании осуществляется исходя из условия наилучшего совпадения расчетного гидографа с экспериментальным, начиная от первой отражающей границы послойно вниз. Качество совпадения расчетного и экспериментального гидографов определяется по совокупности признаков, характеризующих различные стороны сходства гидографов: близость t_0 , кривизн, площадей, ограниченных гидографами, и т. д.— всего около двух десятков признаков. При этом расчет параметров очередного слоя проводится с учетом результатов определения параметров пластовой модели среды в предыдущем шаге.

Определение пластовой модели по одному горизонту, но по ансамблю соседних зондирований построено на минимизации совокупности сумм квадратов отклонений между теоретическими и экспериментальными гидографами как по гидографу, так и по ансамблю гидографов на соседних зондированиях. При этом предполагается, что эффективная скорость до расчетного горизонта одинакова, а глубина залегания различна на разных зондированиях.

В обоих случаях сформулированные алгоритмы сложны, в силу чего осуществляется решение поставленной задачи численными методами.

Эти алгоритмы лежат в основе разработанной системы МОСС-МЦСАК для обработки сейсмоакустической информации и используются в производственных экспедициях Одессы, Мурманска и Южно-Сахалинска.

На основе сказанного можно констатировать, что при непосредственном участии сотрудников кафедры разработана, создана и внедрена в практику работ принципиально новая технология ведения морских сейсмоакустических исследований — многоканальная цифровая сейсмоакустика, открывающая реальные возможности дистанционной оперативной оценки свойств и состояния морских грунтов.

Созданные на кафедре структурной геофизики за последнюю четверть века новые научные направления — инженерная сейсморазведка и сейсмоакустика — имеют большие возможности для дальнейшего развития и совершенствования и открывают широкие перспективы использования сейсмических методов в инженерной геологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев В. И., Агеев В. Н. Вероятностно-статистическое обоснование корреляционной зависимости модуля деформации песчаных грунтов от модуля упругости // Реферативный сборник научно-исследовательских работ СГИ.—Свердловск, СГИ.—1973.—С. 62—65.
2. Бондарев В. И., Писецкий В. Б. Сейсмическая аппаратура для инженерно-геологических исследований // Геофизическая аппаратура.—Л.: Наука, 1972. Вып. 50.—С. 143—150.
3. Рекомендации по применению сейсмической разведки для изучения физико-механических свойств рыхлых грунтов в естественном залегании / В. И. Бондарев.—М.: Стройиздакицания, 1974.—142 с.
4. Рекомендация по применению вертикального сейсмического профилирования в инженерно-геологических скважинах с целью оценки физико-механических свойств рыхлых грунтов / В. И. Бондарев, В. Б. Писецкий, В. Н. Агеев, Г. Г. Вербицкий.—М.: Стройиздакицания, 1976.—30 с.
5. Руководство по эксплуатации 1-й части системы «Грунт-2» / В. И. Бондарев, В. Б. Писецкий, С. М. Крылатков.—М.: Стройиздакицания, 1982.—128 с.

УДК 550.83

А. В. Давыдов

СПОСОБ ОПРОБОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И РУД ПО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЮ

Опробование горных пород и руд по гамма-излучению производится радиометрами направленного приема излучения. В настоящее время на производстве используются два типа радиометров опробования — однодетекторные и двухдетекторные [5]. В однодетекторных радиометрах направленность опробования создается частичной экранировкой детектора от мешающего (фонового) излучения вне зоны опробования (полная экранировка невозможна по весогабаритным характеристикам свинцовых экранов) и двойным измерением интенсивности излучения на точках опробования: с открытым и закрытым окном в зону опробования (с применением специального фильтра окна). Более производительными являются двухдетекторные радиометры, в которых интенсивность излучения одновременно измеряется вторым (фоновым) детектором и вычитается из измерений первого детектора, помещенного в специальный экран с окном в зону опробования, с определенным коэффициентом приведения. Однако детекторы в таком радиометре занимают разное геометрическое положение относительно зоны опробования, а соответственно приведение измерений фонового детектора к расположению основного детектора (решение системы двух уравнений относительно интенсивности излучения из зоны опробования) осуществляется с определенной погрешностью, которая может возрастать до существенных значений (более 10 %) при большой фоновой интенсивности излучения (например, в условиях горных выработок) и при больших градиентах интенсивности излучения на площади опробования (при резко неравномерном распределении содержаний радиоактивных элементов в породах), т. е. именно тогда, когда требуется повышенная точность измерений. Разное положение детекторов относительно зоны опробования накладывает определенные ограничения и на размеры детекторов, а соответственно и на чувствительность приборов.

Возможен и другой, спектральный способ получения системы двух уравнений и их решения относительно интенсивности излучения из зоны опробования, при этом способ реализуется с использованием только одного детектора. Сущность способа заключается в следующем.

Детектор радиометра спектрометрического типа (сцинтиляционный счетчик) открыт в зону опробования и экранирован от фонового излучения свинцовым фильтром толщиной 4–8 мм. Регистрация излучения производится в двух энергетических интервалах спектра: низкоэнергетическом и высокозергетическом с граничной энергией разделения интервалов Eg порядка 200–250 кэВ. Регистрируемые детектором скорости счета сигналов от поверхности опробования в низко- и высокозергетических интервалах будут определяться выражениями:

$$\begin{aligned} M' &= P' \cdot N + R' \cdot F, \\ M'' &= P'' \cdot N + R'' \cdot F, \end{aligned} \quad (1)$$

где N — суммарная скорость счета сигналов от излучения из зоны опробования, F — то же от пород вне зоны опробования (условно — зоны фона, при этом излучение из данной зоны проходит на детектор через свинцовый фильтр). P' и P'' — относительные доли скорости счета соответственно в низко- и высокозергетическом интервалах, R' и R'' — то же для скорости счета F , M' и M'' — скорости счета в низко- и высокозергетическом интервалах. При этом $P'+P''=1$, $R'+R''=1$, $M'+M''=N+F$ и $P'/P'' > R'/R''$ за счет разных условий прохождения излучения из зоны опробования и зоны фона на детектор. Индексы ('', '') здесь и в дальнейшем относятся соответственно к первому (низкоэнергетическому) и второму (высокозергетическому) интервалам регистрации.

Решая систему уравнений (1) относительно скорости счета N для излучения из зоны опробования, получаем:

$$N = K' \cdot M' - K'' \cdot M'', \quad (2)$$

$$K' = R'' / (P' - R'), \quad (3)$$

$$K'' = R' / (P'' - R''). \quad (4)$$

При установленной граничной энергии Eg разделения интервалов регистрации излучения значения коэффициентов P и R могут быть определены измерениями на поверхности однородной по содержанию радиоактивных элементов среды при полностью открытом детекторе (без свинцового фильтра) и при детекторе, полностью закрытом свинцом фильтром. Для перехода от скорости счета N к содержанию радиоактивных элементов (в зоне опробования) проводится определение пересчетного коэффициента радиометра в рабочем положении на рудных моделях по типовой методике для радиометров гамма-опробования.

Форма спектра естественного гамма-излучения руд и горных пород, особенно в области энергий до 500 кэВ, практически постоянна. Спектральная эффективность регистрации сцинтиляционных детекторов зависит от их типа, размеров, энергии излучения и условий прохождения излучения на детектор. Статистическая погрешность измерения зависит от данных факторов и является функцией граничной энергии Eg разделения интервалов регистрации излучения. Из выражения (2) для дисперсии отсчетов Nt (t — экспозиция) можно записать:

$$D(Nt) = K'^2 \cdot D(M't) + K''^2 \cdot D(M''t) = K'^2 \cdot M't + K''^2 \cdot M''t, \quad (5)$$

где значения K и M определяются положением Eg на спектре естественного гамма-излучения и параметрами детектора (без учета прямой зависимости M от содержания радиоактивных элементов). Если аппроксимировать каким-либо аналитическим выражением аппаратурные спектры естественного гамма-излучения, регистрируемые от однородной среды открытым детектором и детектором, закрытым свинцовым экраном, то не представляет затруднений проведение анализа выражения (5) по минимуму дисперсии на оптимальное значение положе-

ния Eg . Численный анализ, проведенный непосредственно по аппаратурным спектрам для детекторов $Nal(Tl)$ размерами от 16×20 до 25×40 со свинцовыми фильтрами толщиной от 4 до 8 мм показал, что функция (5) имеет минимум внутри зоны значений Eg от нижней границы $Eg1$ до верхней границы $Eg2$, на которых выполняются условия:

$$1. M' = M'' \text{ при } Eg = Eg1, \quad (6)$$

$$2. R' = R'' \text{ при } Eg = Eg2. \quad (7)$$

Значение $Eg1$ определяется установкой такой границы Eg , при которой наблюдается равенство скоростей счета в низко- и высокозергетических интервалах регистрации в рабочем положении прибора на поверхности излучающей среды. Условие (7) эквивалентно равенству скоростей счета в этих же интервалах на поверхности той же среды при полном экранировании детектора, т. е. при перекрытии окна свинцового фильтра в зону опробования фильтром такой же толщины.

Условия (6) и (7) весьма удобны как для практической установки границы Eg при первичной настройке и градуировании приборов на рудных моделях, так и для периодической проверки и подстройки положения Eg при эксплуатации (для чего в приборе должен быть предусмотрен соответствующий орган изменений установки границы Eg).

Способ имеет возможность упрощения измерений и настройки. Преобразуем выражение (2) к виду:

$$N = K' \cdot (M' - M'' \cdot R'/R''), \quad (8)$$

Если установить границу интервалов регистрации непосредственно по условию (7), то выражение (8) превращается в уравнение

$$N = K' \cdot (M' - M''), \quad (9)$$

$$Q = (M' - M'')/K, \quad (10)$$

где K — общий пересчетный коэффициент прибора (имп/сек на % U_4 , определяемый на рудной модели), Q — содержание эквивалентного урана в зоне опробования. Установление значения Eg по условию (7) хотя и несколько не оптимально с позиции минимума статистической погрешности, но удобно для практики в силу своей однозначности и простоты построения измерительной схемы прибора.

Интенсивность естественного гамма-излучения в низкоэнергетической области спектра (многократно рассеянное излучение при измерениях в условиях естественного залегания пород) зависит также от эффективного атомного номера горных пород. При существенных изменениях атомного номера пород по площади опробования это может приводить к появлению дополнительной погрешности измерений. Для исключения данного фактора наиболее простой метод — закрытие входного окна датчика дополнительным свинцовым фильтром толщиной 1—1,2 мм, что несколько снижает чувствительность прибора, но не изменяет условий его настройки и градуирования. Однако более эффективным и создающим дополнительные возможности в опробовании руд можно считать другой метод: непосредственное измерение эффективного атомного номера пород в зоне опробования [2] и соответственно учет его значения в пересчетном коэффициенте или непосредственную стабилизацию пересчетного коэффициента [3].

Использование детектора радиометра в спектрометрическом режиме требует либо автостабилизации энергетической шкалы преобразования измерительного тракта прибора, либо ее периодического контроля и подстройки в процессе работы. При установке границы Eg по условию (7) периодический контроль затруднений не представляет и может выполняться без дополнительных контрольных изотопов (по естествен-

ному излучению пород). Автостабилизация энергетической шкалы радиометра, удовлетворяющая условиям измерений, также может быть выполнена без дополнительных (реперных) источников излучения по средней энергии спектра естественного гамма-излучения [4], которая в энергетическом интервале 300—1000 кэВ практически постоянна, или по особенностям формы спектра излучения [1].

При использовании сцинтилляционных детекторов основной свинцовый экран выполняется в виде цилиндрического стакана с торцевым окном в зону опробования, при этом установка угловой чувствительности блока детектирования и ее изменение производится в довольно широких пределах перемещением детектора в экране относительно выходного окна. Прибор не имеет никаких ограничений по размерам детектора и по соотношению интенсивностей основного и мешающего излучений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. № 1514116. Способ определения содержания радиоактивных элементов в горных породах / А. В. Давыдов, В. А. Давыдов, А. С. Серых.—1989.
2. А. с. № 1570523. Способ определения эффективного атомного номера горных пород и устройство для его осуществления / А. В. Давыдов, Г. Г. Коргуль, А. Г. Шампаров.—1990.
3. А. с. № 1167968. Способ коррекции плотности потока излучения при гамма-каротаже и опробовании руд и устройство для его осуществления / А. В. Давыдов, Г. Г. Коргуль, А. Г. Шампаров.—1985.
4. А. с. № 1327687. Способ стабилизации коэффициента энергетического преобразования измерительного тракта радиометрической аппаратуры и устройство для его осуществления / А. В. Давыдов, А. Г. Шампаров, А. С. Серых.—1987.
5. Хайкович И. М., Шашкин В. Л. Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению.—М.: Энергоатомиздат, 1984.—160 с.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Разработчик — Сквородников И. Г.

Устройство предназначено для определения направления потока подземных вод по измерениям в одиночных буровых скважинах, может найти применение при подготовке строительства крупных инженерных сооружений, изучении фильтрации воды из водохранилищ, осушении горных выработок, подготовке подземных хранилищ.

Устройство опускается в скважину на шнуре или тросе. Глубина скважины не ограничена.

Преимущества:

- отличается простотой конструкции и малой стоимостью;
- абсолютная погрешность в определении направления потока составляет $\pm 5^\circ$.

Устройство обеспечивает получение первичных документальных материалов, фиксирующих направление потока подземных вод и направление магнитного меридиана.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК (556.3 + 624.131) : 470.5

*И. В. Абатурова, Э. И. Афанаасиади, О. Н. Грязнов, О. М. Гуман,
С. Г. Дубейковский, В. П. Новиков, С. В. Палкин, Л. П. Парфенова*

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ, ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ ПРИ РАЗВЕДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА УРАЛЕ

История промышленного освоения горноскладчатого Урала насчитывает свыше 2,5 веков и связана с открытием и эксплуатацией железорудных, меднорудных, а позднее хромитовых, золоторудных, угольных, редкометальных и нерудных месторождений. В настоящее время из его недр добывается более 50 видов минерального сырья. Наиболее активно разрабатываются месторождения Среднего, Южного, отчасти Северного Урала в промышленных центрах Свердловской, Челябинской, Пермской и Курганской областей.

Длительная эксплуатация многочисленных месторождений разнообразных полезных ископаемых, их технологический передел, урбанизация территорий обусловили формирование на Урале провинциальной геоэкологической системы с отчетливой поясовой зональностью. Последняя обусловлена минерагенической специализацией и промышленным освоением региональных структур. Предуралья — горно-химическое сырье и уголь, синклинальных зон эвгеосинклинальной области на железо, медь, хром, никель, золото, алюминий, антиклинальных зон на редкие металлы, нерудное сырье; наложенных структур восточного склона на уголь и железо. Во всех зонах с той или иной интенсивностью разрабатываются строительные материалы. Оптимальные оценки гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических условий месторождений на стадиях разведки и прогноз их развития при вскрытии полезных ископаемых и эксплуатации горных предприятий имеют принципиальное значение для проектирования наиболее эффективных систем, способов разработки, технологий добычи и переработки минерального сырья.

Основные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых на Урале могут быть сформулированы следующим образом: влияние гидрогеологических обстановок на условия разработки месторождений, качество минерального сырья и полноту его извлечения, изменение устойчивости пород в горных выработках; прогноз водопритоков и обустройство эффективных дренажных систем; питьевое и техническое водоснабжение, использование дренажных вод; охрана подземных вод от истощения и загрязнения; влияние геологических усло-

вий из выбор систем и способов разработки месторождений; оценка и прогнозирование техногенной активизации инженерно-геологических процессов и явлений при строительстве и эксплуатации горных предприятий; инженерная петрология метасоматитов; оценка и прогнозирование роли анизотропии инженерно-геологических условий на изменение напряженно-деформационного состояния массивов горных пород при их вскрытии горными работами; оценка и прогнозирование техногенных геохимических процессов в выработанном пространстве массивов горных пород, отвалах, хвосто- и шламохранилищах, дренажных водах; полнота извлечения и комплексное использование полезных ископаемых (безотходная технология); оценка и прогнозирование загрязнения окружающей среды вследствие разработки полезных ископаемых; проблемы рекультивации.

Рассмотрим эти вопросы на примерах разведки и эксплуатации месторождений разных видов и промышленно-генетических типов минерального сырья, размещенных в различных региональных структурах.

Рассматриваемая территория по современной схеме гидрогеологического районирования размещается на площади четырех крупных бассейнов подземных вод первого порядка: Восточно-Русского и Предуральского артезианских; Большуральского сложного бассейна корово-блочных (трещинно-пластово-блочных) вод; Западно-Сибирского артезианского бассейна. В инженерно-геологическом отношении по [3] в пределах Большого (гипсоклинально-складчатого) Урала выделены Западно-Уральский, Центрально-Уральский, Восточно-Уральский, Магнитогорский и Урало-Тобольский регионы, соответствующие главным региональным структурам I и II порядков.

Указанные региональные структуры имеют различное геолого-текtonическое строение, отличаются геоморфологическим своеобразием, орографическими и гидрографическими условиями, а также степенью гидрогеологической раскрытии слагающих их водоносных горизонтов и комплексов. В сумме эти отличия природной обстановки создают в каждом из бассейнов своеобразные гидрогеологические условия формирования ресурсов и запасов подземных вод, инженерно-геологические и гидрогеологические условия вскрытия и отработки месторождений твердых полезных ископаемых.

Для Восточно-Русского и Предуральского артезианских бассейнов характерны платформенные условия формирования подземных вод в мощной (до 2 км) осадочной толще палеозоя, этажное расположение водоносных горизонтов и комплексов, четкая вертикальная гидродинамическая и гидрохимическая зональность. Верхней части разреза до глубин 150—200 м свойственны: фациальная невыдержанность толщи; зависимость водоносности пород от литолого-структурных и геоморфологических условий проявления и интенсивности неотектонических движений; увеличение минерализации подземных вод с глубиной; наличие локальных разгрузок высокоминерализованных вод глубоких горизонтов. В пределах открытых гидрогеологических структур Пермско-Башкирского свода кунгурско-артинские гипс-ангидритовые и карбонатные осадки характеризуются сильной закарстованностью. Этим обусловлен интенсивный водообмен, высокая, но неравномерная водообильность и пестрый гидрохимический состав подземных вод. Наряду с пресными гидрокарбонатными водами значительное развитие получают воды с высоким содержанием сульфатов и повышенной общей жесткостью.

В Уральской системе бассейнов распространены трещинные, трещинно-жильные и трещинно-карстовые безнапорные водоносные горизонты и комплексы, воды которых, как правило, формируются в границах поверхностных водосбросов, образуя небольшие бассейны стока. Водоность связана с двумя видами трещиноватости. Первый представляет

собой региональную зону трещиноватости пород в коре выветривания. Мощность ее варьирует от 30—50 м в интрузивных и метаморфических образованиях до 80—100 м, редко более — в карбонатных породах. По этой зоне в естественных условиях осуществляется движение подземного стока к зонам разгрузки, совпадающим на местности, как правило, с долинами рек и эрозионными врезами. Второй вид трещиноватости, выступающий обычно в виде объекта поиска, разведки и строительства водозаборов подземных вод, представляют линейные зоны тектонических нарушений, контактов разнородных пород, жильных полей. Мощность зон трещиноватости достигает 150—200 и более метров, по профилю они часто прерывисты, нередко выражены в рельефе и сопровождаются развитием мощных линейных кор выветривания. Интенсивный водообмен определяет развитие в Уральской зоне складчатости пресных и ультрапресных вод. Вертикальная гидрохимическая зональность, как правило, отсутствует, а по площади проявляется в соответствии со сменой климатических и ландшафтных зон, литологического состава водоемещающих пород. В Западно-Уральской зоне линейной складчатости она нарушается за счет подтока соленых и солоноватых вод Предуральского артезианского бассейна.

Западная окраина Западно-Сибирского артезианского бассейна по гидрогеологическим условиям представляет собой двухэтажную структуру. Верхний этаж сложен морскими и континентальными отложениями верхнего мезозоя и палеогена. Для него характерны платформенные условия формирования подземных вод водоносных горизонтов и комплексов в осадках олигоцен-четвертичного возраста, палеогена и верхнего мела. Нижний этаж, образующий фундамент бассейна, сложен дислоцированными палеозойскими и нижнемезозойскими породами, представляя восточную, погребенную часть Уральской геосинклинали. Для бассейна в целом свойственна неравномерная водообильность пород основных водоносных комплексов, сложные условия гидравлической взаимосвязи их между собой и единой водонапорной системе артезианского бассейна, сложные гидрохимические условия.

Природные особенности региональных структур определяют своеобразие гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых. Развиваемый нами генетический подход к изучению и оценке месторождений позволил установить основные закономерности формирования гидрогеологических и инженерно-геологических условий ряда крупных месторождений Урала — Верхнекамского калийных солей, Светлинского золоторудного, бокситов СУБРа, Баженовского хризотил-асбеста, Высокогорского, ОсокиноАлександровского, Гороблагодатского и Серовского железорудных.

История тектонического развития горно-складчатой системы Большого Урала от архейско-раннепротерозойских реликтовых и в значительной степени переработанных блоков фундамента, через рифейиды западного склона и уралиды восточного склона до позднепалеозойской стабилизации подвижных зон и позднепалеозойской — мезозойской тектономагматической активизации консолидированных структур обусловили линейно-блочную мозаику глыбных тектонических подразделений I и II порядков. Разнознаковые и разновеликие амплитуды перемещений земной коры в геологической истории вызвали распределение и перераспределение напряжений в массивах скальных пород, интенсивные процессы мезокайнозойского выветривания и денудации определили развитие элювиальных образований, покровно-осадочного чехла терригенных отложений, мощное проявление карста и других геодинамических процессов и явлений, продолжающихся и в настоящее время.

Массивы магматических месторождений сложены прочными скальными породами при незначительном развитии элювиально-делювиаль-

ных образований. Главный негативный фактор, снижающий устойчивость массивов,— их трещиноватость. Подземные воды не оказывают существенного влияния на изменение свойств горных пород и условий отработки месторождений.

Инженерно-геологические особенности контактово-метасоматических (скарновых) месторождений определяются сложностью («поликомпонентностью») их геологического строения — развитием вулканогенно-осадочных (терригенных, терригенно-карбонатных, карбонатных) слоистых пород, в различной степени закарстованных, прорывающих из интрузивных комплексов основного, субщелочного, кислого состава, даек и жил, разномасштабных разломов, рудных скарнов, наличием линейных и площадных кор выветривания, элювиально-делювиальных образований значительной мощности, умеренной обводненностью по сети разрывов и трещин, карстовых полостей. Такая ситуация вызывает осложнения в устойчивости бортов карьеров, напряженное состояние и удароопасные обстановки в подземных горных выработках, особенно на больших глубинах.

Метаморфогенные месторождения отличаются линейно-блоковой анизотропией геологических и инженерно-геологических свойств массивов, регламентированной сланцеватостью, разгнейсированностью, дислоцированностью, трещиноватостью, минеральным составом горных пород, развитием разломов, метасоматических процессов. Им также свойствены коры выветривания и элювиально-делювиальные образования.

Гидротермальные месторождения, развиваясь в массивах скальных горных пород различного состава и происхождения (интрузивных, вулканогенных, осадочных, метаморфических), как правило, в значительной мере тектонически нарушенных и метасоматически переработанных, характеризуются сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями. В зоне гипергенеза формируются мощные коры выветривания линейного и площадного типов, элювиально-делювиальные комплексы различной мощности.

Осадочным месторождениям твердых полезных ископаемых различного генезиса и месторождениям коры выветривания свойственны сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Одним из ведущих региональных факторов инженерно-геологических условий Урала является развитие элювиальных грунтов, слагающих верхнюю часть массивов большинства месторождений.

Анализ геологических обстановок формирования месторождений различных генетических типов позволяет выделять простую (моногенную) и сложную (полигенную) анизотропию инженерно- и гидрогеологических условий массивов горных пород. Первая обусловлена одним-двумя факторами (слоистость, карст, состав пород, трещиноватость, метасоматическая зональность, обводненность и др.), вторая вызвана проявлением нескольких факторов. В инженерно-геологическом отношении выражением анизотропии служит неоднородное распределение напряженно-деформационного состояния массивов горных пород, определяющего условия разработки месторождений.

В Предуральском краевом прогибе особое место занимает Верхнекамское месторождение калийных солей, представляющее собой многослойную залежь в верхней части мощной толщи галогенных отложений кунгурского яруса. Месторождение вытянуто в меридиональном направлении на 140 км при максимальной ширине 42 км. Площадь развития калийных солей — 3750 км². Месторождение подстилается слоистой толщей каменной соли мощностью около 300 м. В гидрогеологическом отношении она является надежным водоупором. Калийная залежь подразделяется на нижнюю сильвинитовую и верхнюю сильвинито-кариатитовую зоны. Над толщей солей залегают породы уфимского яруса.

верхней перми (мергели и глины с прослойками гипса, ангидрита и каменной соли, терригенные нестабильные отложения), залегающие над верхним региональным водоупором. Надсолевые отложения представляют собой регионально развитый водоносный комплекс гидравлически связанных между собой аллювиального, терригенно-карбонатного и мергельного водоносных горизонтов. Состав подземных вод изменяется от пресных гидрокарбонатно-кальциевых с минерализацией 0,2—0,3 (до 0,5 г/дм³) в зоне активного водообмена, совпадающей с местным эрозионным врезом, до концентрированных (300 и более г/дм³) хлор-натриевых рассолов в зоне затрудненного водообмена над «соляным зеркалом» в соляно-мергельной толще.

Часть водоупорных пород, включающая соляные слои над продуктивными пластами калийных солей и переходную зону соляно-мергельной толщи, получила название водозащитной толщи (ВЗТ). Ее мощность на месторождении увеличивается от первых десятков метров на куполах до 170—180 м в прогибах соляных структур. Минимально допустимая мощность ВЗТ при отработке продуктивных пластов принята на месторождении равной 60 м.

Нарушение сплошности ВЗТ в любой точке месторождения неизбежно приведет к затоплению горных выработок. Так случилось при аварии в 1986 г. на Балахонцевском участке, отрабатываемом Третьим Березниковским рудоуправлением. Объемы затопленного пространства составили около 15 млн. м³ при величине водопритока на заключительном этапе аварии (через 2—3 месяца после ее начала) до 10 тыс. м³/ч. Позднее в результате взрыва метана, наколившегося в карстовой полости над местом прорыва подземных вод, произошло разрушение массива с образованием на поверхности прозодальной воронки площадью 2 га и глубиной до зеркала подземных вод 45 м. В качестве основной причины поступления рассола в горные выработки явился процесс образования техногенных трещин расслоения в ВЗТ. В результате использования системы с податливыми целиками произошло ослабление подработанного массива в целом, а за счет порядка отработки шахтного поля от участков с минимальным числом сольсодержащих ритмов в соляном-мергельной толще к площадям с большим их количеством — уменьшение мощности самой ВЗТ над аварийным участком на 40 м.

Таким образом, важнейшим фактором горно-геологических условий отработки Верхнекамского месторождения являются его гидрогеологические особенности. С учетом этого фактора успешная отработка месторождения в целом возможна только при исключении деформаций в налегающей толще пород, приводящих к нарушению сплошности ВЗТ, что может быть достигнуто при сохранении полноты выемки полезного ископаемого только закладкой выработанного пространства твердеющими смесями и порядком ведения очистных работ, учитывающим особенности геологического строения водоупора.

В результате строительства и работы калийных предприятий в рассматриваемом промрайоне сложилась сложная экологическая обстановка: изымаются значительные площади земель, происходит заливание почвы, поверхностных и подземных вод, над отработанными пространствами деформируется земная поверхность, загрязняется атмосферный воздух. Оздоровление окружающей среды промрайона возможно путем внедрения в технологию добычи и переработки солей комплекса мер: использование в качестве твердеющей закладки выработанного пространства отходов калийного производства, использование полуфабрикатов извлекаемой каменной соли, переход к оборотной схеме водоснабжения при получении конечного продукта и избавление от избыточных технологических рассолов путем их выпаривания или использования при контурном обводнении рядом расположенных нефтяных залежей.

В пределах горноскладчатого Урала месторождения твердых полезных ископаемых приурочены преимущественно к комплексам в различной степени трещиноватых скальных пород. Осложняющими факторами их гидрогеологических и инженерно-геологических условий являются обводненные коры выветривания линейного типа, приуроченные к зонам тектонических нарушений, и интенсивно закарстованные массивы карбонатных пород. Влияние этих факторов на условия отработки рассмотрим на примерах Светлинского месторождения золота, бокситов СУБРа, Баженовского месторождения хризотил-асбеста и Высокогорского скарново-магнетитового месторождения.

Геологическая позиция Светлинского месторождения определяется его приуроченностью к одноименной грабен-синклинали раннекарбонового заложения, которая фиксирует шовную зону сопряжения Арамильско-Сухтединского мегасинклиниория и Челябинско-Суундуровского мегаклиниория Восточно-Уральского поднятия. Это определяет весьма напряженную тектоническую обстановку в районе месторождения. В геоморфологическом отношении оно находится в северной части практически замкнутой Светлинской депрессии с площадью водообора 20 км². В геологическом строении депрессии принимают участие гнейсо-сланцевая толща ордовик-нижнесилурского возраста, наложенные угленсто-терригенно-карбонатная и вулканогенно-терригенная толщи визейского возраста (на западе) и терригенно-вулканогенная толща нижнего — верхнего силура (на востоке). На месторождении установлена такая последовательность эпигенетических процессов: 1) березитизация-лиственитизация; 2) сиалический plutонометаморфизм эпидот-амфиболитовой фации с образованием кварц-биотит-амфиболовых метасоматитов; 3) трейзенизация; 4) дислокационный метаморфизм уровня зеленосланцевой фации, обусловивший расслащивание ранее возникших эпигенетических пород; 5) гидротермальная аргиллизация с сопряженным золотым оруднением в зонах прожилкового окварцевания и метасоматических кварцевых жилах; 6) гипергенез с формированием кор химического выветривания [6]. Максимальная мощность кор выветривания (до 400 м) отмечается в контактовых частях мраморов и узлах пересечения тектонических нарушений и пространственно совпадает с промышленным оруднением. Коры выветривания обводнены.

На месторождении получили развитие водоносные горизонты в зонах трещиноватости пород коренного субстрата — горизонт зон трещиноватости некарстующихся пород и трещинно-карстовый водоносный горизонт. Основную роль в обводнении месторождения будет играть трещинно-карстовый горизонт. По химическому составу подземные воды гидрокарбонатно-кальциевые с минерализацией 0,4—0,7 г/дм³, качество их соответствует требованиям ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая» по всем показателям.

Технико-экономическими расчетами доказана рентабельная отработка Светлинского месторождения открытым способом до глубины 315 м при условии наклона бортов будущего карьера в корах выветривания под углом не менее 18°, что соответствует устойчивости предварительно осущенных глинистых пород. В этой связи обводненность месторождения выступает в качестве основного фактора инженерно-геологических условий его обработки.

Замкнутый характер Светлинской депрессии упрощает задачу прогноза общей величины водопритока методом аналогии по величине эксплуатационного модуля, который в рассматриваемых природных условиях обосновывается величиной 1,8 дм³/с·км². Однако необходимость осушения значительного объема естественных запасов подземных вод в корах выветривания при вскрытии месторождения в строительный период, контроля за эффективностью водопонижения при осушении

призмы возможного оползания в бортах карьера, сложенных глинистыми корами выветривания, и обоснования гарантированной работы будущего водозабора хозяйствственно-питьевого назначения потребовала увязки величины водоотбора с распределением напоров подземных вод по площади формирования депрессионной воронки. Эта работа потребовала привлечения гидродинамического метода прогноза на основе математического моделирования. Несмотря на значительный объем гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, выполненных на месторождении к настоящему времени, все еще сложной остается задача обоснования опережающего водопонижения глубже 120—130 м (через 20—25 лет после начала его отработки) как в части вскрытия на глубинах 130—350 м закарстованных трещин с достаточной водообильностью, так и в части прогноза поведения на этих глубинах депрессионной воронки. Решение этих вопросов требует целенаправленного сбора и анализа информации о перераспределении напоров подземных вод в процессе водопонижения с увязкой ее в рамках постоянно действующей гидроэвакуационной модели (ПДГМ), описывающей процессы движения, истощения и загрязнения подземных вод.

Месторождения бокситов СУБРа контролируются размытой, закарстованной поверхностью известняков нижнего девона, залегая в основании терригенно-карбонатного разреза эйфеля. Пластообразные залежи бокситов падают на восток под углами 25—45°. Рудный горизонт включает нижний подгоризонт красных и яшмозидных бокситов и верхний подгоризонт пестроцветных пиритизированных бокситов. Бокситоносная мульда нарушена сбросами и взбросами северо-восточного — субширотного простирания с амплитудами перемещений до 200—400 м.

Главными природными факторами, определяющими инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождений, являются высокая закарстованность и обводненность комплексов рудоносных горных пород. Действующая система осушения (дренажные узлы, бетонные каналы) привела к формированию техногенной зоны аэрации глубиной до 500 м и объемом в 22 км³. Откачка подземных вод вызвала резкое оживление карстово-супфазионных процессов. За период разработки месторождений СУБРа (с 1942 г.) средний коэффициент закарстованности на площади 186 км² увеличился с 27 до 32 карстовых форм на 1 км² [4]. Система водоотлива СУБРа откачивает в час до 18—23 тыс. м³ воды.

В условиях естественного состояния массивов карбонатных и терригенно-карбонатных пород распределение полей напряжений обусловлено структурой массива, их закарстованностью, обводненностью и влиянием приразломных динамических напряжений. Одним из показателей повышенной напряженности может служить дискование керна разведочных скважин. Подземная разработка месторождений и глубокое водопонижение сопровождаются перераспределением полей напряжений, что служит причиной горных ударов. В бокситоносных карбонатных породах СУБРа горные удары происходят с глубины 300—350 м. При этом подмечено, что динамические разгрузки напряжений концентрируются на участках гидрогеологических структур, где напоры снижены до минимальных величин. В то же время в обводненных горных породах (выработках) горные удары не зафиксированы [4].

Баженовское месторождение хризотил-асбеста приурочено к одиноченному массиву силурийских гипербазитов и связано с наложением постмагматических процессов средне-позднекаменноугольного верхисетского комплекса малокалиевых гранитов. Образование хризотил-асбеста вызвано гидротермально-метасоматической серпентинизацией ультраосновных пород дунит-гарцбургитовой ассоциации (дви-

тов, гарцбургитов-перидотитов). Широким распространением пользуются разломы: протяженные крутопадающие меридионального простирания, субширотные и диагональные, пологие поперечные зоны трещиноватости и рассланцевания. На месторождении выделено 36 крупных залежей. Их длина по простиранию варьирует от 20 м до 4,5 км при изменении мощности от 40 м до 1,4 км. На глубину залежи прослеживаются на протяжении десятков-сотен метров, а в отдельных случаях до 1100 м. В плане форма залежей неправильная, эллипсовидная или линзообразная; в вертикальном разрезе — трубо- или чашеобразная (для эродированных тел). Залежи характеризуются зональным строением. В центре располагается ядро неасбестоносных серпентинизированных пироксеновых дунитов или перидотитов, при их отсутствии — перидотиты с отороченными жилами асбеста. От ядра к периферии прослеживается смена типов асбестоносности: отороченные жилы, крупная и мелкая сетка, мелкопрожилки, серпентиниты с просечками асбеста. Далее следуют рассланцованные серпентиниты и дайки гранитондов. Последние фиксируют зоны рудоконтролирующих разломов. Встречаются залежи с асбестоносностью одного-двух типов [2].

Особенности геологического строения месторождения определили анизотропию его инженерно-геологических условий. Главными фактами явились гидротермально-метасоматическая зональность и структурная нарушенность массива гипербазитов [1]. Дуниты и перидотиты характеризуются высокими значениями прочности на сжатие ($R_c = 138,8$ МПа) и растяжение ($R_p = 20,0$ МПа). Угол внутреннего трения $\varphi = 44^\circ$ при значении удельного сцепления $C = 16,0$ МПа. Процесс серпентинизации снижает механическую прочность исходных пород: для алопериодитовых серпентинитов ядер комплексов $R_c = 103,6$ МПа, $\varphi = 43^\circ$, лизардитовым серпентинитам свойственным $R_c = 92,8$ МПа, а у хризотиловых серпентинитов асбестоносных зон $R_c = 87,7$ МПа при $\varphi = 42^\circ$. На фоне гидротермально-метасоматической зональности инженерно-геологические условия массива коррелируются с интенсивностью тектонической проработки горных пород — развитием разнонаправленных зон трещиноватости, дробления, рассланцевания, смятия, милонитизации, даек гранитондов, зон оталькования и карбонатизации. Поверхностный элювий, техногенно-активизированные процессы выветривания способствуют развитию склоновых процессов (осыней, оползней, вывалов, обрушений), осложняющих разработку месторождения открытым способом.

Выявленные закономерности позволили создать модель инженерно-геологических условий и на ее основе выполнить инженерно-геологическое районирование Баженовского месторождения, используемое при разработке проектов добывочных работ и их реализации.

Высокогорское скарново-магнетитовое месторождение локализовано в зоне юго-восточного секущего контакта Тагильского диорит-сиенитового массива с моноклинально залегающими вулканогенно-осадочными породами (андезито-базальтовыми порфиритами, их туфами, известняками) силурского возраста. Месторождение рассечено многочисленными разнонаправленными дорудными и пострудными дайками и осложнено зонами крупных крутопадающих разломов. Разведочными работами выделено 18 рудных тел, сосредоточенных в Западной и Восточной скарново-рудных зонах [5]. Верхняя часть месторождения (до глубины 150 м) характеризуется развитием элювия и коры выветривания, а в карбонатных породах — карста.

Сложному геологическому строению месторождения адекватна полигенная анизотропия его инженерно-геологических условий. Разработка рудных залежей открытым способом и на небольших глубинах подземными работами связана с проблемой выветрелости и закарствование-

сти горных пород. Отработка глубоких горизонтов шахтным способом во многом зависит от напряженно-деформированного состояния скального массива. Оценка ведущих инженерно-геологических факторов в этих условиях традиционными методами затруднена. Положительно зарекомендовал себя метод инженерной сейсмометрии, позволяющий получать интегральные характеристики массива горных пород в законтурном пространстве.

При вскрытии массива скальных пород горными выработками проявляется естественная (природная) и техногенная неоднородность механических свойств горных пород как вдоль оси выработок, так и на удалении от них в глубь массива. Изменение напряженного состояния вдоль выработок вызвано разгрузкой напряжений по тектоническим нарушениям, перераспределением напряжений в отдельных блоках в зависимости от петрографических особенностей вскрываемых пород. В законтурном пространстве массива изменение состояния горных пород связано с развитием зон дезинтеграции (нарушения сплошности), возникающих в результате разгрузки естественных напряжений. На участках послойного преобразования упругих деформаций в массиве возможно прогнозировать области разгрузки, а в местах с повышенным значением модуля упругости ($9-11 \cdot 10^4$ МПа) — области концентрации напряжений. При пересечении разломов обнаруживается различное напряженное состояние пород относительно плоскости нарушения: уменьшение до $3 \cdot 10^4$ МПа в высячем боку при повышенных (до $8 \cdot 10^4$ МПа) значениях в лежачем боку сместьителя.

Инженерно-геологическое районирование скальных массивов возможно осуществить на основе распределения упругих деформаций. Модуль упругости в этом случае может служить критерием оценки напряженного состояния, упругих свойств, трещиноватости горных пород и др. На Высокогорском месторождении установлены 3 класса горных пород в скальных массивах: 1) устойчивые ($E=5-7 \cdot 10^4$ МПа); 2) относительно устойчивые ($E=3-5 \cdot 10^4$ МПа) и 3) неустойчивые ($E<3 \cdot 10^4$ МПа). Эта информация является полезной при планировании перспективного развития горных работ.

Наиболее сложным в гидрогеологическом и инженерно-геологическом отношении типом месторождений осадочного генезиса в покровных мезозойских отложениях чехла западной окраины Западно-Сибирской платформы является Серовское месторождение железных руд. Замарайская депрессия, где находится это месторождение, представляет собой относительно небольшой бассейн субнапорных вод, приуроченный к мезокайнозойской впадине горноскладчатого сооружения. В осадочном чехле депрессии распространены четвертичный, нижнеэоценовый, меловой и палеозойский субнапорные и безнапорные водоносные горизонты и комплексы, образующие в совокупности единую водонапорную систему. Замарайский бассейн служит базисом стока как для безнапорных вод окружающих массивов горноскладчатого Урала, так и для напорных вод тектонических разломов фундамента депрессии.

Месторождение планируется вскрыть и отработать последовательно тремя карьерами. Продуктивная толща бобово-конгломератовых железных руд залегает на глубине до 130 м в основании сложной построенной слоистой системы водоносных и водоупорных горизонтов (комплексов). Степень изученности месторождения на участке карьера № 1 соответствует стадии предварительной разведки. Устойчивость горных пород низкая, что усугубляется высокими гидростатическими напорами в отдельных элементах системы и плавненным поведением песчаных разностей мелового водоносного горизонта. Фактор устойчивости бортов будущего карьера и его уступов предопределяет необходимость вскрытия продуктивной части разреза под обязательной защитой опережаю-

шего водопонижения. Разобщенность нижнезоценового горизонта и мелового комплекса обуславливает автономность дренажных систем в каждом из них. При создании понижений в десятки метров депрессионная воронка разовьется до границ Замарайской депрессии, где водоносные горизонты связаны с современной речной сетью.

По результатам математического моделирования установлена сложная динамика водопритоков в карьер 1-й очереди площадью 7 км² со среднемноголетней величиной около 3200 м³/ч и обоснована система расположения водопонизительных скважин: 124 — на нижнезоценовый водоносный горизонт при средней глубине 45 м; 15 — на меловой и 10 — палеозойский водоносные комплексы при средних глубинах соответственно 140 и 200 м. Установлена возможность эксплуатации Замарайского водозабора г. Серова с производительностью 9 тыс. м³/сутки вплоть до начала отработки карьера 3-й очереди, то есть по крайней мере еще на 60—70 лет. Сокращение речного стока в сумме достигнет 930 м³/ч.

Анализ материалов и выполненного моделирования определили направление дальнейших гидрогеологических и инженерно-геологических работ на стадии детальной разведки месторождения по уточнению геофильтрационной модели, а также получению исходных данных для прогноза деформации земной поверхности при снятии гидростатического взвешивания пород при водопонижении и по оценке эксплуатационных заласов дренажных вод как попутно извлекаемого полезного ископаемого.

Проблема охраны геологической среды в промышленных районах Среднего Урала чрезвычайно актуальна. Особенно велико негативное воздействие на окружающую среду техногенных ландшафт, возникающих при разработке медных месторождений. В силу своих геолого-геохимических особенностей они служат поставщиком активных загрязнителей природной среды халькофильными элементами, многие из которых высокотоксичны (свинец, ртуть, кадмий, цинк, медь, никель, ванадий, телур, мышьяк, сурьма). Основными промышленными источниками загрязнения являются отвалы, хвосто- и шламохранилища, шахтный водотлив.

Природные воды — наиболее динамичный и легко загрязняемый элемент геологической среды. Исследования источников их загрязнения и способов защиты на эксплуатируемых месторождениях были выполнены на Волковском медно-железо-ванадиевом месторождении. Мониторинг включал организованную сеть скважин и постов регулярных режимных наблюдений и опробования. В результате установлено, что основным источником загрязнения поверхностных и подземных вод служат отвалы окисленных и забалансовых руд, продукцирующие высокотоксичные кислые рассолы. Природная защищенность подземных вод на площади месторождения крайне неоднородная и контролируется мощностью, составом и характером распространения делювиальных отложений.

В заключение, обобщая рассмотренные проблемы, сформулируем основные направления дальнейших исследований при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых: 1) обеспечение питьевого и технического водоснабжения предприятий, городов и поселков; 2) разработка способов и методов защиты подземных вод от загрязнения и истощения, развитие мониторинга; 3) изучение и прогнозирование гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических условий разработки месторождений разных видов и промышленно-генетических типов минерального сырья в различных региональных структурах; 4) изучение закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния массивов различного генезиса и активизация геодинамических процессов при вскрытии массивов в ходе разработ-

ки месторождений; 5) изучение инженерной петрологии метасоматитов; 6) широкое внедрение в гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических исследованиях методов математического моделирования на персональных ЭВМ; 7) активное внедрение в практику инженерно-геологических исследований геофизических методов; 8) проведение среднемасштабного гидрогеологического, инженерно-геологического и геоэкологического районирования территории горнодобывающего Урала, в первую очередь районов интенсивного промышленного освоения; 9) детальное гидрогеологическое, инженерно-геологическое и геоэкологическое картирование промышленных центров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев А. Ф., Дубейковский С. Г. Особенности инженерно-геологических условий asbestosовых месторождений Урала // Проблемы инженерной геологии и связи с промышленностью-гражданским строительством и разработкой месторождений полезных ископаемых. Тезисы V Всесоюзной конференции. — Свердловск, 1984. — Т. 2. — С. 82—86.
2. Баженовское месторождение хризотида-асбеста / Под. ред. К. К. Золоева, Б. А. Попова. — М.: Недра, 1985.—271 с.
3. Инженерная геология СССР. Урал, Таймыр и Казахская складчатая область. — М.: Недра, 1990.—408 с.
4. Плотников И. И. Гидрогеологические проблемы разработки бокситовых месторождений Урала // Сов. геология. 1985. — № 3. — С. 113—120.
5. Подлесский К. В. Скары и околоврудные метасоматиты железорудных месторождений Урала и Кавказа. — М.: Наука, 1987.—204 с.
6. Савельева К. П., Граванов О. И., Костромин Д. А. Критерии различия гидротермальных метасоматитов аргиллитовой формации и химической коры выветривания на одном из золоторудных месторождений // Новые данные по золоторудным месторождениям Урала. — Свердловск, 1990. — С. 113—118.

УДК 556.3 : 550.812(470.5)

С. В. Палкин, С. С. Палкин

К ВОПРОСУ О РАЗВЕДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА УРАЛЕ

Среди месторождений полезных ископаемых Уральского региона (Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская области) особое место занимают месторождения подземных вод, особенно питьевого назначения. Разведка таких месторождений для водоснабжения населения традиционно занимает важное место среди проблем прикладной гидрогеологии.

Систематические работы в рассматриваемом направлении ведутся уральскими гидрогеологами почти полвека. В 1951 году впервые в нашем регионе были официально утверждены в ГКЗ эксплуатационные запасы подземных вод (для городов Асбеста и Пласта). С тех пор разведано 250 месторождений с запасами более 2500 тыс. м³/сутки (см. таблицу). Результаты выполненных разведочных работ и региональной оценки эксплуатационных запасов показывают, что подземные воды могут и должны играть важную роль в системе водоснабжения наших городов, поселков и предприятий. Правда, за счет их ресурсов в большинстве случаев может быть обеспечена только часть водопотребления, особенно перспективного. Поэтому их использование должно планироваться в комплексе с поверхностными водами. Исключение составляют такие города, например, в Свердловской области, как Иадель, Североуральск, Карпинск, Краснотурьинск, Волчанск, Серов, Михайловск,

Красноуфимск, Н. Серги, Первоуральско-Ревдинский промузел, райцентры Шаля, Атиг, Арты, Сысерть и другие, водоснабжение которых может быть практически полностью осуществлено за счет водозаборов, работающих на подземных водах. Такими же исключением являются те населенные пункты области, где подземных вод требуемого качества и в достаточных количествах нет: города Свердловск, Н. Тагил, Талица, Тавда, районный центр Байкалово и др.

Таблица данных о месторождениях подземных вод

Административная область	Количество разведанных месторождений		Разведанные запасы подземных вод		Используется разведанных залежей, тыс. м ³ /сут.	% использования разведенных залежей	Удельные характеристики, м ³ /сут. на 1 зал.			
	всего	из них эксплуатируется					об обнаженных разведенных залежах, тыс. м ³ /сут.	от подготовленных к эксплуатации		
			кто-ко	% от числа разведенных						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пермская	29	13	45	592	435	182	30,7	41,7	0,12	0,06
Свердловская	164	80	40	1256	1027	401	24,6	39,0	0,22	0,08
Челябинская	39	19	49	614	502	289	47,2	57,7	0,14	0,08
Курганская	18	4	22	181	152	19	10,3	12,3	0,14	0,02
Всего	250	116	46	2742	2115	890	32,5	42,1	0,16	0,07

П р и м е ч а н и е. Численность населения Пермской, Свердловской, Челябинской и Курганской областей составляет соответственно 3106, 4660, 3630, 1085 тыс. человек.

Большой опыт разведки месторождений, а также многолетние систематические наблюдения за их эксплуатацией позволяют сформулировать следующие важные задачи и проблемы этого раздела прикладной гидрогеологии, некоторые из них еще требуют своего решения.

1. Проблема оценки общих эксплуатационных запасов месторождений подземных вод заключается в необходимости количественного определения источников их формирования для периодов (лет) низкой водности обеспеченностью от 85 до 95 % (для различных категорий потребителей по их значимости). Причем в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, расчетным должен считаться, как правило, самый напряженный по водности месяц маловодного года. Эксплуатация месторождений, режимные наблюдения за которой ведутся на ряде месторождений уже в течении 15—20 лет, показала, что указанное ограничение является исключительно жестким и приводит к занижению реальных возможностей объектов из-за неучета особенностей строения геофильтрационной среды по межсезонному, а в отдельных случаях и по межгодовому регулированию эксплуатационного водоотбора. Дело в том, что водозаборные участки, даже в трещинно-коровьих бассейнах грунтового стока, где основным источником формирования эксплуатационных запасов являются только естественные ресурсы, располагаются, как правило, в пределах зон развития достаточно мощных кор выветривания коренных пород. Кроме того, для них характерно расположение в понижениях рельефа, где в естественных условиях происходят большие потери водных ресурсов на испарение и транспирацию влаголюбивой растительностью. В нарушенных гидрогеологических ус-

ловиях, когда водоотбор сопровождается снижением уровня подземных вод на достаточно обширной площади депрессионной воронки, модуль питания водоносного коллектора на таких участках существенно возрастает, во-первых, за счет исключения (или уменьшения) из водного баланса указанных выше его расходных статей, а, во-вторых, за счет абсолютного роста объема инфильтрации атмосферных осадков в искусственно созданную зону аэрации, обладающую определенными емкостными возможностями и способную магазинировать солидные объемы воды в многоводный период года. Другими словами, под влиянием водоотбора на таких месторождениях происходит не только перераспределение отдельных составляющих водного баланса в пользу подземной составляющей, но и абсолютное увеличение водных ресурсов в границах бассейна стока за счет исключения их неизбежных потерь на испарение и транспирацию в естественных условиях.

Этот процесс еще рельефней проявляется на придолинных участках современных рек, где основной продуктивный горизонт перекрывается сверху аллювиальными отложениями повышенной мощности, когда в регулирование питания водозабора вовлекаются не только ресурсы частной площади водосбора, но и транзитный речной сток. Учет указанных особенностей формирования эксплуатационных запасов позволяет увеличивать их общую величину в 1,5—2,0 раза по сравнению с традиционным подходом, что было реализовано при разведке, например Сергинского, Мало-Кизильского, Вагранского, Березовского, Липовского и других месторождений подземных вод.

2. Значительная часть уральских месторождений относится по классификации ГКЗ к группе сложных (III группа), что определяется исключительно неравномерной трещиноватостью или закартированностью водовмещающих пород и невозможностью количественной оценки каждой из составляющих будущего эксплуатационного водоотбора. В этих условиях, согласно требованиям нормативных документов, обоснование запасов, подготовленных для промышленного освоения, должно базироваться на результатах групповых опытно-эксплуатационных откачек. Учитывая, как правило, небольшие масштабы таких объектов (до 5—10 тыс. м³/сут.), включение в состав разведочных работ продолжительных и трудоемких опытно-фильтрационных работ резко увеличивает общую стоимость и удельные затраты на разведку подземных вод. Это, при ограниченности финансовых ресурсов заказчика, часто приводит к отказу от вовлечения таких объектов в народнохозяйственный оборот, что, естественно, не может считаться нормальным. В этих условиях уральскими гидрогеологами реализуется нестандартный подход к оценке промышленно подготовленной части эксплуатационных запасов месторождения. Он базируется, с одной стороны, на современных подходах к оценке общих запасов, основанных, как указывалось, на изучении многолетнего опыта эксплуатации месторождений подземных вод и широкого внедрения в разведочную практику метода гидрогеологической аналогии; с другой — на основе включения в состав разведочных работ опытных одиночных откачек из наиболее репрезентативных точек будущего водозабора. Для повышения надежности гидрогеологического прогноза по степени вовлечения в промышленный водоотбор оптимальной величины общих запасов месторождения в будущую схему водозабора вводятся дополнительные резервные скважины, что для месторождений самой высокой группы сложности признается экономически оправданным, поскольку, строго говоря, необходимая степень разведанности таких объектов может быть достигнута только в процессе их реальной эксплуатации в течение ряда лет.

3. Качество подземных вод разведываемых месторождений как будущих источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения изу-

чается в соответствии с требованиями ГОСТ 2671—84 «Источники централизованного хозяйствственно-питьевого водоснабжения».

В соответствии с этим государственным регламентом, учитывая слабую защищенность продуктивных водоносных структур от поверхностного загрязнения и, как правило, достаточно тесную их связь с поверхностными водами, качество разведемых подземных вод должно изучаться по весьма широкой программе. Причем, перечень анализируемых компонентов и веществ должен в каждом конкретном случае базироваться на анализе реальной антропогенной ситуации. В настоящее время по согласованию с органами санитарно-эпидемиологического надзора в число таких показателей качества обязательно следует включать ароматические углеводороды, ядохимикаты, нефтепродукты, а также техногенные радионуклиды (цезий-137, стронций-90) и соли таких токсичных элементов, как хром, кадмий, бериллий и др., в чём находит отражение специфическая экологическая ситуация большинства наших промышленно развитых районов. К сожалению, примеры всестороннего изучения качества подземных вод, предназначенных для питьевых нужд, пока единичны.

Такой подход особенно необходим при разведке водозаборов экологически чистых подземных вод, под которыми понимаются объекты, где формирование эксплуатационных запасов происходит в условиях, априорно исключающих техногенное загрязнение природно чистых и пригодных для питья подземных вод. Такими объектами могут быть либо хорошо защищенные с поверхности участки водоносных структур артезианских бассейнов, либо небольшие бассейны грунтового стока, ресурсы подземных вод которых формируются на экологически чистых территориях. Они известны, например в Свердловской области, в районах городов Североуральска, Серова, Каменска-Уральского, Березовского, Сысерти, Невьянска и др.

4. В последние годы в промышленную эксплуатацию начинают вовлекаться весьма сложные месторождения, где достоверный гидрогеологический прогноз, как по гидродинамическим, так и по гидрохимическим параметрам, на стадии разведки объективно невозможен. На таких объектах возникает проблема гидрогеологического управления процессом эксплуатации, которое реализуется путем создания постоянно действующих математических моделей на персональных компьютерах. Естественно, эти объекты должны включаться в сеть государственного мониторинга подземных вод. Примером месторождения, по которому создана указанная модель, является Шадринское, предназначенное и ныне уже вовлечённое в эксплуатацию для водоснабжения одноименного города в Курганской области.

5. Восточная часть рассматриваемого региона, которая относится к Западно-Сибирскому артезианскому бассейну, обладает значительными ресурсами слабосолоноватых подземных вод (минерализация до 3 г/дм³). В долинах рек Исеть, Миасса, Пышмы, Тобола могут быть разведаны водозаборы с производительностью от 25—30 до 60—80 тыс. м³/сутки. Причем, подземные воды таких объектов хорошо защищены от поверхностного загрязнения толщами слабопроницаемых отложений. Однако их природное качество из-за принадлежности к коллекторам морского генезиса, как правило, не соответствует нормам питьевого стандарта по величине минерализации (высокое содержание хлоридов) и по содержанию бора и брома. Учитывая, что поверхностные воды магистральных рек этого региона загрязнены и не пригодны для питьевых нужд, а ресурсы пресных подземных вод весьма ограничены, вовлечение в водохозяйственный оборот солоноватых вод является весьма актуальной задачей. Для её решения уральскими гидрогеологами создана необходимая информационная база как по оценке

запасов таких вод, так и по объективной характеристике их качества. В первую очередь разработку и внедрение в практику технологий по соответствующей водоподготовке рекомендуется осуществлять для наиболее крупных потребителей — городов Талица, Шадринск, Курган. Для последнего, в частности, только что предварительно разведано Лесниковское месторождение, расположенное в долине р. Тобол, в непосредственной близости от города. Его эксплуатационные возможности оцениваются в 80 тыс. м³/сутки.

6. По данным государственного учета вод на территории указанных выше административных областей ежегодно системами шахтного и карьерного водоотлива извлекается из недр около 1500 тыс. м³/сутки подземных вод, из которых 80 % — без какого-либо использования. Конечно, большая их часть по своему качеству и условиям капитала не пригодна для питьевых нужд. Однако значительные количества извлекаемой подземной воды могут и должны использоваться для хозяйствственно-бытовых и технологических нужд. Особенно там, где откачка воды из недр производится дренажными системами, работающими на перехвате подземного потока к горным выработкам, где основной водоподбор происходит на отметках, превышающих горно-добывающие горизонты. Примерами оценки запасов дренажных вод и их использования в различных целях, в том числе и для водообеспечения населения, являются системы водоотлива на Березовском золоторудном, Богословско-Волчанско-Буроугольном, Троицко-Байновском огнеупорных глин, Липовском никелевом месторождениях и др. Уникальная возможность вовлечения в хозяйственный оборот извлекаемых из недр подземных вод в связи с горнопромышленным производством имеется на Североуральском бокситовом руднике. Только на его северном фланге утвержденные эксплуатационные запасы подземных вод составляют более 230 тыс. м³/сутки, что вместе с запасами Вагранского месторождения подземных вод (южный фланг СУБРа) достаточно для решения проблемы хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Североуральска, Волчанска, Карпинска и Краснотурынска, вместе взятых.

В заключение отметим, что уровень технической культуры в области эксплуатации месторождений и водозаборов подземных вод, к сожалению, остается в регионе низким, несмотря на многолетние усилия гидрогеологической службы по контролю за их охраной от истощения и загрязнения. На многих водозаборах не ведется инструментальный учет количества отбираемой из недр воды, водопользователи в большинстве случаев не контролируют положение уровня подземных вод в эксплуатируемом водоносном горизонте, не говоря уже о том, что часто на водозаборах централизованного водоснабжения отсутствует необходимая сеть наблюдательных скважин. Качество воды контролируется по весьма скучному перечню показателей. Это практически исключает возможность современной экологической оценки действующих питьевых водозаборов, что в условиях высокой техногенной нагрузки является недопустимым. Можно надеяться, что с выходом новых Основ водного законодательства Российской Федерации и с внедрением в водохозяйственную практику механизма лицензирования добычи подземных вод положение с контролем за эксплуатацией подземных вод улучшится.

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Гидрогеологические свойства скальных массивов определяются, главным образом, степенью тектонической нарушенности. Разломы, расположенные в одном скальном массиве, но имеющие разную ориентировку, передко обладают различными фильтрационными показателями. Основную роль в обеспечении повышенных фильтрационных свойств разломов играет степень раскрытия и наличие взаимосвязи между системами трещин. Водопроводящие свойства трещин зависят также от их залеченности и от состава заполнителя. Указанные факторы в значительной степени связаны с условиями формирования и возрастом тектонического нарушения.

Важнейшее значение имеют неотектонические процессы, определяющие степень обновления старых, залеченных ранее трещин, и образование новых. Кроме того, неотектонические подвижки ведут к существенному изменению напряженного состояния массива вблизи тектонических нарушений. В условиях снижения действующих нормальных напряжений неотектонические трещины сохраняют свое раскрытие, а ранее образовавшиеся водопроводящие каналы увеличивают свои фильтрационные свойства. Таким образом, можно считать, что гидрогеологические свойства разломов в значительной степени определяются их обновлением в ходе современных тектонических подвижек.

Возможность проявления неотектонических процессов определяется современным напряженным состоянием массивов горных пород. При наличии данных, характеризующих поле современных напряжений, можно прогнозировать возможность неотектонических подвижек по существующим разломам. На основании тектонофизического анализа, выполненного для конкретного региона, можно выделить системы разломов, имеющих основное гидрогеологическое значение.

При анализе современного напряженного состояния массивов горных пород необходимо иметь сведения о направлении и величине главного горизонтального напряжения, а также количественные характеристики второго горизонтального и вертикального напряжений. При решении гидрогеологических задач обычно следует рассматривать состояние разломов на глубинах не более первых сотен метров.

В зависимости от того, находится ли рассматриваемый регион в условиях сжатия или растяжения, принципиально изменяются подходы к оценке напряженного состояния массива.

Подавляющее большинство горноскладчатых районов находится в зонах сжатия. Горизонтальное сжатие земной коры создает условия для деформирования ее части, прилегающей к земной поверхности, и установления предельно напряженного состояния в массиве горных пород. В этих условиях максимальную составляющую напряжений σ_1 образует активная тектоническая сила, действующая в горизонтальной плоскости. Действие этой силы уравновешивается за счет влияния веса горных пород σ_3 . Промежуточное напряжение σ_2 , действующее в горизонтальной плоскости, обычно рассматривается как боковой отпор от σ_1 и σ_3 [3]. Важно отметить, что вблизи поверхности в условиях предельного напряженного состояния горных пород вертикальное напряжение в большинстве случаев меньше горизонтальных напряжений.

Известно, что при испытании образцов в условиях бокового давления разрушение образцов происходит по плоскостям, проходящим через

ось σ_2 и образующим с σ_1 угол α , изменяющийся в пределах от $45^\circ - \varphi/2$ до $90^\circ - \varphi$, где φ — угол внутреннего трения. Отсюда следует, что в условиях предельного напряженного состояния неотектонические движения могут проходить по разломам, линии пересечения которых на горизонтальной плоскости с σ_1 составляют угол, близкий к 90° . Следует также отметить, что плоскости обновляющихся или вновь образовавшихся разломов должны иметь угол с горизонтальной плоскостью от $45^\circ - \varphi'/2$ до $90^\circ - \varphi'$, где φ' — угол трения по контакту разлома.

При наличии сведений, характеризующих напряженное состояние конкретного района и физико-механические свойства пород, слагающих рассматриваемый массив, можно оценить возможность современных тектонических подвижек по конкретным разломам. На Среднем Урале многие годы разрабатывается Тагило-Кушвинская группа железорудных месторождений. Большинство из них детально изучены [2].

Характеристики напряженного состояния и углы трения (данные по Гороблагодатскому месторождению) представлены ниже:

Азимут направления σ_1 , град	155
σ_1 , МПа	18±0,03Н
σ_2 , МПа	10±0,03Н
σ_3 , МПа	0,04Н
φ , град	24—39
φ' , град	24—32
C , с заполнителем	7—18

В соответствии с теорией Кулона-Мора условие предельного напряженного состояния, когда действующие напряжения равны сопротивлению сдвигу, записывается как:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C,$$

где τ — касательные напряжения; σ_n — нормальные напряжения; C — сцепление.

При отсутствии связи между обломками и блоками горных пород, что можно считать характерным для разломов, условие предельного напряженного состояния принимает вид [1]:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi'.$$

Следовательно, современные подвижки по разломам могут происходить при

$$\frac{\tau}{\sigma_n} \geq \operatorname{tg} \varphi'.$$

Необходимо отметить, что принятые условия $C=0$ является вполне достоверным. Это связано с тем, что сцепление по зонам разломов, как правило, не превышает 0,1 МПа, а касательные напряжения значительно больше.

Известные зависимости для расчета касательных и нормальных напряжений [1] удобно использовать в виде:

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\delta,$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\delta,$$

где δ — угол падения плоскости разлома.

Результаты выполнения расчетов представлены в виде графиков зависимости $\tau/\sigma_n = f(\delta)$. Графики отражают положение участков разлома относительно земной поверхности ($H=0; 100; 200; 300; 400; 500$ м).

В обводненных разломах нормальное напряжение снижается на величину гидростатического давления (U):

$$\sigma_n = \sigma_n - U,$$

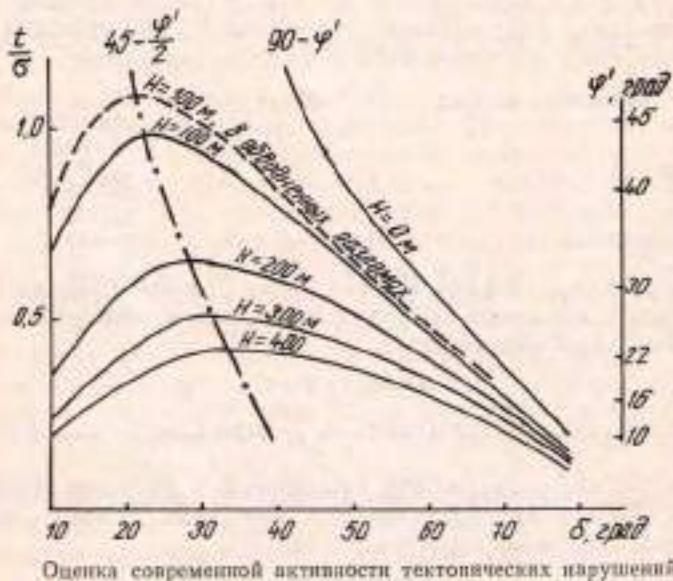
$$U = 0.01 H, \text{ МПа}.$$

Этот случай показан только на графике для приповерхностных условий.

Для удобства анализа в правой части рисунка помещена шкала φ' , рассчитанная по условию

$$\frac{\tau}{\sigma_n} = \operatorname{tg} \varphi'.$$

Вероятность современных подвижек по разлому зависит от наличия заполнителя, длительности приложения напряжений и ряда других



Оценка современной активности тектонических нарушений

факторов, которые отражаются в значениях угла внутреннего трения. При сравнительных оценках можно опираться на среднее значение параметра $\varphi' = 16^\circ$.

Анализ результатов, приведенных в виде графиков, позволяет сделать ряд интересных выводов. Так, вблизи земной поверхности может происходить обновление разломов при довольно крутых углах падения ($\delta = 73^\circ$ при $\varphi' = 16^\circ$). При умеренных углах падения плоскости смесятеля ($\delta \leq 60^\circ$) современные подвижки могут происходить независимо от наличия заполнителя, так как критическое значение составляет более 30° . При углах внутреннего трения более 30° также возможно образование современных тектонических нарушений.

Особо следует рассматривать вопрос о глубине, до которой развиваются неотектонические подвижки. В принципиальном плане разломы рассматриваемой ориентировки могут обновляться и вновь образовываться при условии, что вертикальные напряжения будут иметь меньшие величины, чем горизонтальные. Решение этого вопроса в строгой постановке требует детального обоснования. Ориентировочные оценки дают возможность считать, что указанное условие сохраняется на глубину в несколько сотен метров.

В связи с ростом вертикальных напряжений с глубиной и, соответственно, нормальных напряжений на плоскость смесятеля разлома

вероятность новейших подвижек уменьшается. Вместе с тем, следует отметить, что обновление существующих разломов может происходить на значительных глубинах. Так, в соответствии с графиком, подвижки по разломам, имеющим угол падения 60° и $\phi' = 16$, развиваются до глубины 300 м. При меньших углах падения и наличии заполнителя с низким значением неотектонические движения могут происходить до глубины 400—500 м.

Результаты теоретических расчетов были сопоставлены с фактическими данными. Для выявления основных направлений, по которым происходит движение подземных вод к горным выработкам, построены детальные карты гидроизогипс. Анализ этих карт позволил сделать однозначное заключение о том, что движение подземных вод в основном происходит по разломам, ориентировка которых соответствует вышеуказанным критериям. Следовательно, основными водопроводящими зонами являются тектонические нарушения, ортогональные в плане направлению главного горизонтального напряжения и имеющие определенный угол падения (от $45^\circ - \phi'/2$ до $90^\circ - \phi'$).

Кроме гидрогеологических признаков, указывающих на обновление тектонических нарушений, имеют место инженерно-геологические явления. При углубке ствола шахты «Южная» на Гороблагодатском месторождении на глубине более 400 м была вскрыта зона разлома «Л», имеющая угол падения 70° и ориентировку, соответствующую рассматриваемым условиям. Зона сместителя заполнена сильно перемятым и раздробленным эпидот-хлоритовым материалом, имеющим низкий угол внутреннего трения (около 10°). В течение нескольких лет ствол на этом участке не углубляется из-за неоднократных нынешних материалов материала заполнителя из зоны разлома. Указанные процессы позволяют предполагать, что, несмотря на значительную глубину от поверхности земли, по разлому происходят неотектонические подвижки.

Таким образом, выполненный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Основное гидрогеологическое значение имеют тектонические нарушения, которые обновляются в процессе неотектонических движений.
2. Повышенные фильтрационные свойства характерны для наклонных разломов, проекции которых в плане ортогональны направлению главного горизонтального напряжения.
3. Неотектонические подвижки по указанным разломам происходят на определенной глубине от поверхности. В зависимости от конкретных условий эти глубины могут достигать 400 м и более.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дашко Р. Э. Механика горных пород.— М.: Недра, 1987.— 263 с.
2. Инструкция по креплению горизонтальных горных выработок и их сопряжений на железорудных шахтах Урала и Казахстана.— Свердловск: Институт горного дела, 1988.— 38 с.
3. Петухов И. М., Сидоров В. С., Карманский А. Т. К оценке величин главных напряжений в зонах сжатия земной коры // Геодинамика месторождений: Сб. науч. тр.— Кемерово: Кузбасский ПИ, 1990.— С. 6—17.

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

ПРОФЕССОР А. К. КОЗЫРИН

Исполнилось 75 лет А. К. Козырину — виднейшему уральскому геофизику, специалисту в области скважинной рудной геофизики.

Анатолий Константинович окончил Свердловский горный институт в 1947 г. и по сей день работает здесь, пройдя путь от инженера-исследователя до профессора.

Вся научная деятельность А. К. Козырина направлена на развитие и совершенствование скважинных геофизических исследований. Еще будучи молодым ученым, в 40—50-х годах он внес существенный вклад в становление электрического каротажа на угольных месторождениях Урала. Затем рудные месторождения Урала становятся объектом его научных исследований. Им предложены и внедрены на производство новые методы изучения геологического строения рудных тел, оценки их размеров и содержания металла в рудах, решены отдельные теоретические вопросы электроразведки, сейсморазведки и петрофизики.

Проф. Козырин является одним из основоположников нового направления геофизической разведки — скважинной геофизики. Он автор метода электрической корреляции разрезов скважин, который считается одним из самых эффективных методов скважинной электроразведки. Юбилеем написано в опубликовано 4 монографии и более 80 научных статей, получено 2 авторских свидетельства на изобретение способов, более 10 человек под его руководством защитили кандидатские и докторские диссертации.

Много сил отдает проф. Козырин педагогической деятельности. Его лекции отличаются высоким уровнем подготовки материала, последовательностью и четкостью изложения. Он — организатор и бессменный руководитель специализации по геофизическим исследованиям скважин (ГИС). Со времени организации этой специализации в 1964 г. в институте подготовлено более 300 высококвалифицированных специалистов.

Заслуги Анатолия Константиновича в педагогической деятельности отмечены нарядным знаком «Отличник высшей школы», а в области геологической разведки — знаками «Отличник разведки недр» и «Почетный разведчик недр».

Анатолий Константинович участвовал в боях Великой Отечественной войны и имеет боевые награды: орден Боевого Красного Знамени, орден Отечественной войны I степени и ряд медалей.

Коллеги знают его как разносторонне одаренного человека, который играет за фортелью, пишет стихи, всегда в курсе не только последних научных достижений, но и новостей литературы и искусства. Его высокая эрудиция, приятная и доброжелательная манера общения привлекают к нему молодежь и людей старшего поколения.

Пожелаем А. К. Козырину дальнейших творческих успехов и долгих лет жизни!

И. Г. Сквородников

К 70-ЛЕТИЮ В. А. ПРОКИНА

30 декабря 1992 года исполнилось 70 лет со дня рождения известного уральского геолога, видного ученого, доктора геолого-минералогических наук, профессора Василия Александровича Прокина.

Василий Александрович Прокин родился на Урале в Сухоложском районе в трудовой семье. Война помешала после окончания школы получить законченное образование. С 1942 года В. А. Прокин на фронте. За участие в Великой Отечественной войне награжден орденом Красной Звезды, орденом Славы III степени, орденом Отечественной войны, посемью медалями.

После демобилизации в 1945 году В. А. Прокин поступает в Свердловский горный институт на геологоразведочный факультет. Еще будучи студентом, активно участвует в научных исследованиях.

По окончании института с 1951 по 1962 год В. А. Прокин работал в тресте «Уралцветметразведка» и в Башкирском геологическом управлении в качестве руководителя поисково-съемочных и разведочных работ на ряде объектов. При участии и под руководством В. А. Прокина проводились разведка Сабайского и Бурыйского медноколчеданных месторождений. Составлены комплексные металлогенические карты Башкирии на медь, золото и другие полезные ископаемые, сыгравшие большую роль в повышении эффективности поисково-разведочных работ. Результативная производственная работа сочеталась с плодотворной научной деятельностью. В 1961 году В. А. Прокину присуждена учавая степень кандидата геолого-минералогических наук.

С 1962 по 1965 год В. А. Прокин работал старшим научным сотрудником в заведующем отделом Института геологии Башкирского филиала АН СССР, а с 1965 по 1975 г.—онять в Башкирском геологическом управлении в качестве его главного геолога. За этот период Управлением значительно расширена минерально-сырьевая база республики. С учетом рекомендаций В. А. Прокина открыты Маганское, Юбилейное, Подольское медноколчеданные и ряд других месторождений. Награжден знаком «Первооткрыватель месторождения». В 1973 году Василий Александрович защитил докторскую диссертацию.

В 1975 г. В. А. Прокину присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники Башкирской АССР».

В 1976—1977 годах В. А. Прокин являлся заместителем начальника управления минеральных ресурсов Министерства геологии РСФСР.

В 1977 году в связи с избранием по конкурсу В. А. Прокин переходит на работу в качестве заведующего кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых Свердловского горного института. Богатейший опыт геолога как нельзя лучше пришелся для качественно нового, максимально приближенного к задачам производства этапа подготовки молодых специалистов. Кроме профилирующей дисциплины «Геология полезных ископаемых», в значительной мере пополненной новейшим материалом, В. А. Прокин разрабатывает и читает новый для кафедры курс лекций по общей и региональной металлогении. Укрепляются связи кафедры с академической наукой и производственными организациями. Создается совместно с трестом «Уралцветметразведка» отраслевая лаборатория «Оценка меднорудной базы предприятий Урала», организован филиал кафедры в ПГО «Уралгеология», по совместительству В. А. Прокин заведует лабораторией рудных месторождений Института геологии и геохимии УНЦ АН СССР.

С 1987 года В. А. Прокин переходит на постоянную работу в Институт геологии и геохимии в качестве заведующего лабораторией рудных месторождений, затем главного научного сотрудника, где продолжает активно вести исследовательскую работу и подготовку научных кадров.

Авторитет В. А. Прокина в геологических кругах огромен. Его центр как знатока геологии месторождений полезных ископаемых Урала. Особенно значителен вклад В. А. Прокина в изучение медноколчеданных месторождений, где его имя стоит в одном ряду с именами таких ученых, как А. Н. Заварницкий, С. Н. Иванов, М. Б. Бородавская и др. Широкую известность получила работы В. А. Прокина по изучению зональности и миграции вещества при гидротермальных преобразованиях имеющихся пород, разработка геолого-генетических моделей медноколчеданных месторождений, методики их прогнозирования, поисков и разведки. В 1977 году опубликована монография «Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале», в 1985—1992 годах под его руководством и при активном участии выходит в свет трехтомное издание «Медноколчеданные месторождения Урала», представляющее сводку новейших данных по геологии и генезису этих интереснейших месторождений. Круг научных интересов В. А. Прокина связан также с изучением истории геологического развития и металлогении Урала. В. А. Прокин — участник международных конгрессов и симпозиумов уральских региональных конференций и экскурсий.

У В. А. Прокина много учеников и продолжателей как в науке, так и в производстве. Его исключительная целеустремленность, преданность геологической науке и производству, оптимизм в отношении их будущего вызывают у всех нас чувство глубокого уважения.

Юбилей — это итог свершенных дел и планы на будущее. Горячо поздравляю Василия Александровича с юбилеем, желаем ему на долгие годы здоровья, сил и новых успехов в его творческой работе.

Б. Ф. Рудницкий

ПОТЕРИ НАУКИ

ПАМЯТИ Д. С. Штейнберга — учителя и ученого

Год назад ушел из жизни Дмитрий Сергеевич Штейнберг — отличный преподаватель и видущий ученый в области изучения геологии и петрографии магматических и метаморфических комплексов Урала, основоположник уральской петрографической школы. Он прошел долгий жизненный путь и, отличаясь ярким аналитическим умом, огромной работоспособностью, обладая воистину безграничной эрудицией, оставил яркий след в сознании всех, кто его знал лично.

После окончания в 1930 году геологоразведочного отделения горного факультета УПИ Д. С. Штейнберг четыре года работал геологом Джетыгиринского комбината на Южном Урале; около двадцати лет, с четырехлетним перерывом в годы войны в связи со службой в рядах Советской Армии, преподавал в Свердловском горном институте — спачала ассистентом, затем доцентом и десять лет — в должности заведующего кафедрой петрографии. В самые трудные послевоенные годы в течение четырех лет он был деканом геологоразведочного факультета института. Наряду с преподаванием он постоянно вел научно-исследовательские работы в важнейших в промышленном отношении горнорудных районах — Тагило-Кушвинском, Невьянском, Березовском, Кусинском, Магнитогорском и Джетыгиринском.

Почти 35 лет напряженной и самой плодотворной части своей жизни он посвятил служению науке и более четверти века заведовал организованной им лабораторией петрографии в Горно-геологическом институте УФАН СССР, впоследствии переименованном в Институт геологии и геодинамики УрО РАН.

Хотя научные интересы Д. С. Штейнберга были весьма разносторонними, основное внимание он постоянно уделял изучению гранитоидов и ультраосновных пород и их метаморфизму, вопросам магматической геологии, петрохимии и классификации магматитов. Вопросам их детального изучения и формационного расчленения были посвящены шесть монографий, более 200 статей, а также два изданных учебных пособия — «Основы петрографии без микроскопа» и «Структуры горных пород», ставшие сейчас, к сожалению, библиографической редкостью.

На протяжении 40 лет Д. С. Штейнберг осуществлял руководство Уральским петросоветом и являлся Председателем формационной комиссии Петросовета СССР. Он был организатором и руководителем всех пяти уральских петрографических совещаний и ряда всесоюзных и региональных симпозиумов по вопросам петрологии гранитоидов, выделения латеральных рядов формаций, формационного расчленения, генезиса и металлогении ультрабазитов и др. Огромную работу он провел по редактированию и изданию трудов Первого и Второго петрографического совещаний, составляющих девять томов общим объемом свыше 200 п. л.

Д. С. Штейнберг подготовил и защитил 17 кандидатов наук. Среди его учеников — шесть докторов наук и академик А. А. Маракушев, являющийся выпускником Свердловского горного института. К числу его учеников бесспорно принадлежат и многие сотни опытных и квалифицированных геологов-производственников и научных сотрудников, работающих во всех регионах нашей страны и в первую очередь на Урале.

Дмитрий Сергеевич пользовался авторитетом не только среди научных сотрудников, но и у геологов, петрографов и геохимиков производственных объединений, экспедиций и геологоразведочных партий. Не случайно к нему постоянно приезжали и обращались за советом и поддержкой очень многие геологи из самых различных геологических организаций Урала и сопредельных областей.

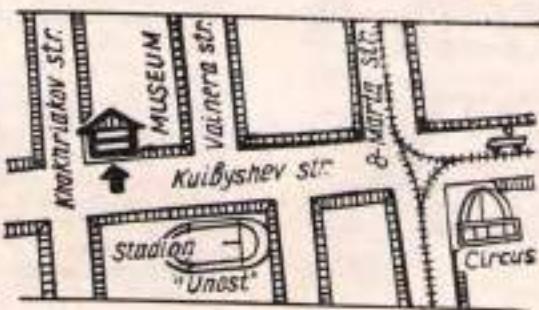
Смерть Дмитрия Сергеевича Штейнберга — большая потеря для всех, кто его знал, учился у него, пользовался его советом и поддержкой, ощущал и использовал в своей работе его огромный научный потенциал.

И. А. Маликов

ИНФОРМАЦИЯ

УРАЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО ИНСТИТУТА

Уральская геологическая выставка открыта в августе 1937 года, и первыми ее посетителями стали участники XVII сессии Международного геологического конгресса, посвященного геологическим проблемам азиатского континента в состоявшемся в Москве. Дальнейшая судьба выставки решалась 10 января 1938 года. Приказом



Наркомтяжпрома она была вместе с 4-этажным зданием, построенным еще в 1930 году, передана Горному институту.

Уральский геологический музей — замечательное создание уральских геологов, является музеем региональным. Это уральский музей, и в нем представлены каменные документы исключительно уральского происхождения. Сейчас его коллекция насчитывает более 30 тысяч экспонатов, отражающих геологию и богатство недр Урала.

Экспозиция музея подразделяется на четыре отдела: минералогия, полезных ископаемых, петрография, общая и историческая геология. «Музей можно назвать библиотекой, книги которой написаны самой природой. Они всегда открыты и никогда до конца не прочитываются» (Н. Ламери). Посетители музея эти увлекательные книги помогут прочесть опытные экскурсоводы и научные сотрудники музея. Посетители музея смогут увидеть уникальные коллекции минералов, горных пород и руд, палеонтологических остатков. Выставленные образцы познакомят со сказочным миром уральского камня. Здесь же можно полюбоваться изделиями из природных камней, в том числе и самоцветов.

При музее работают салоны-магазины, где можно приобрести сувениры и ювелирные изделия, а в геммологическом кабинете получить сертификат на изделия.

По телефонам 22-31-09 и 29-49-38 можно сделать предварительную заявку на коллективное посещение музея. Для зарубежных гостей экскурсия может быть проведена на английском, французском и немецком языках. Музей работает ежедневно с 11-00 до 17-30, кроме воскресенья и понедельника.

МЫ РАДЫ ВИДЕТЬ ВАС В НАШЕМ МУЗЕЕ!

Наш адрес: 620219, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 39. Остановка транспорта «Цирк» (трамваи 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 14, 15, 25, 32, автобусы 23, 50, 55).

РЕФЕРАТЫ

УДК 622.003.13

Научная концепция переоценки минерально-сырьевой базы Российской Федерации / Козаков Е. М., Пахомов В. П., Игнатьева М. Н. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2 — С. 9—13. — Рус.

Обоснована необходимость переоценки минерально-сырьевой базы РФ на основе широкого социально-экономического подхода, предполагающего обеспечение нормальных условий жизни населения территории, в пределах которой расположено эксплуатируемое месторождение, при сохранении производственных целевых установок.

Раскрыта сущность социально-экономического подхода, определен первоочередной комплекс задач, требующих своего решения для достижения поставленной цели.

Особое внимание уделено вопросу разрешения противоречий между социальными приоритетами и хозяйственной деятельностью горнодобывающей промышленности на базе радикального изменения процедуры обоснования разведки и освоения зерд и принятия компромиссного решения.

УДК 551.3.051 : 552.5(57)

К необходимости переоценки роли генетических исследований в угольной геологии / Алексеев В. П., Кошевая В. Н., Кризихин С. В., Максимов В. А., Расулов А. Т., Рефат С. М., Русский В. И. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2 — С. 14—21. — Рус.

На основе общих представлений о структуре геологических знаний показаны самостоятельная роль угольной геологии, в рамках которой изначально выработались многие направления изучения геологических явлений и процессов. Констатируется преобладание в практике углеразведочных работ «структурного» подхода, не востребующего значительного количества исходной информации. Показывается его недостаточность в конкретных примерах — необходимость широкого использования генетических

исследований на всех этапах изучения углеводородных отложений.

Табл. 1, рис. 3, библ. 7 назв.

УДК 550.8/519

К вопросу информационной оценки признаков при прогнозно-геологических исследованиях / Вяткин В. Б. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2 — С. 21—28. — Рус.

Проведен критический анализ традиционной методики определения информативности признаков с помощью теории информации. На примере рассмотрения картографической системы «рудотаксономический объект — признак» изложены основы негэнтропийной (информационной) концепции отражения и в качестве информативности признаков при прогнозно-геологических исследованиях предложено использовать негэнтропийный (информационный) вес отражения. При заданных условиях установлена функциональная взаимосвязь негэнтропийной концепции с теорией информации Шеннона и показана некорректность использования последней при изомании рудотаксономических объектов.

Рис. 2, библ. 13 назв.

УДК 622.271.333 : 624.131.537

Методика обработки массовых замеров трещиноватости на ЭВМ / Зотеев В. Г., Зотеев О. В., Костерова Т. К. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2 — С. 28—34. — Рус.

Обработка результатов массовых замеров с использованием ЭВМ усложнена отсутствием критерия определения границ систем трещин и совместной обработки двух параметров (азимут и угол падения). Предлагается методика и программа обработки массовых замеров, обеспечивающая выделение систем трещин в пределах одного и двух среднеквадратических отклонений по а и б, а также определение их средних значений и статистических характеристик протяженности, интенсивности, раскрытия и т. п. по каждой системе.

Табл. 2, рис. 1, библ. 8 назв.

Компьютерная петрофизическая классификация рудоемещающих горных пород по диаграммам каротажа / Сапожников В. М. // Известия Уральского горного института. Сер. Геология и геофизика. — 1993. — Вып. — С. 35—41. — Рис.

На примере данных по Шемурской структуре, вмещающей несколько медно-молчедианых месторождений в рудопроявлениях, показано применение предлагаемой методики компьютерной обработки диаграмм каротажа, позволяющей строить по скважинной графики четырех показателей, которые отражают основность (кислотность) и интенсивность преобразований горных пород. В рассматриваемом примере использованы измерения плотности, магнитной восприимчивости, естественной радиоактивности и удельного сопротивления. Результаты обработки позволяют получить данные, представляющие интерес при изучении геологических структур и решениях зондово-поисковых, а затем и разведочных задач.

Рис. 2, библ. 5 назв.

УДК 550.837.653

Автоматизированная система интерпретации результатов рудной петрофизики / Серков В. А. // Известия Уральского горного института. Сер. Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 41—46. — Рис.

Рассмотрены основные проблемы автоматизации процесса интерпретации результатов петрофизических исследований при поисках и разведке рудных месторождений. Определены способы их решения. Приведено описание структуры программного и информационного обеспечения автоматизированной системы обработки и интерпретации данных петрофизических исследований.

Технология интерпретации иллюстрируется примером построения модели распределения удельного электрического сопротивления в разрезе медно-молчедианых месторождений.

Рис. 3, библ. 6 назв.

УДК 520.550

Комплексный анализ сложных геолого-технических условий бурения / Ошкордии О. В. // Известия Уральского горного института. Сер. Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 46—51. — Рис.

Приведены общие принципы предупреждения буровых аварий, геолого-тех-

нических осложнений в технологическом браке при разведочном бурении в сложных условиях.

С позиций системного подхода рассмотрены технологические особенности сложных условий, предложена структурная модель, описывающая взаимосвязь факторов аномальных технологических явлений и общий алгоритм принятия сопоставимых технико-технологических решений.

Рассмотрена возможность последовательного применения комплекса методов структурного анализа для выработки рациональных решений при бурении в сложных условиях.

Библ. 3 назв.

УДК 563.627

Строматопораты и гелиолитоиды Уральского палеозойского бассейна / Богоявленская О. В., Лобаев Е. Ю. // Известия Уральского горного института. Сер. Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 52—62. — Рис.

Впервые отмечаются особенности расселения двух близко родственных групп строматопорат и гелиолитоидов в Уральском палеобассейне, начиная со среднего ордовика и кончая поздним фанером. Установлено распространение этих групп в организованных постройках шельфа и на приподнятых участках дна глубоководной зоны. Выделяемые комплексы строматопорат и гелиолитоидов могут служить корреляционной осевой для соответствующих отложений Урало-Монгольского пояса.

Библ. 24 назв.

УДК 551.24.052+553.041

Горизонтальные движения земной коры и их структурные формы проявления, прогнозирование месторождений полезных ископаемых / Горожаникин В. Т. // Известия Уральского горного института. — 1993. — Вып. 2. — С. 63—67. — Рис.

Горизонтальные движения земной коры сопровождаются закономерной ориентировкой разломов и интрузивных тел. На основе приуроченности многих эндогенных месторождений к висячим наименее деформированным крыльям разломов и к эндо- и экзоконтактовым зонам, погружающимся в сторону от центра интрузивного массива, могут быть определены перспективные площади на выявление месторождений полезных ископаемых.

Рис. 3, библ. 7 назв.

УДК 551.21.553.3.078(234.851)

Палеовулканические критерии прогнозирования позднерифейского и раннепалеозойского эндогенного оруденения западного склона севера Урала / Д. Уши и В. А. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 68—75. — Рус.

Приведены результаты палеовулканических исследований рифейских и палеозойских отложений Полирного и Приполярного Урала, позволившие впервые реконструировать палеогеодинамические обстановки и выявить региональные и локальные палеовулканические критерии прогнозирования колчеданного, колчедано-полиметаллического и медно-молибден-порфирового оруденения. Даны типизация рудных объектов по фациям и будущим палеовулканическим структурам, выделены перспективные рудные районы и поля.

Табл. 2, рис. 1, библ. 9 назв.

УДК 551.72+552.5(470.0)

Рифейский осадочно-породный бассейн на Южном Урале / А. И. Фимов, Л. В. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 75—85. — Рус.

Рассмотрением во взаимной связи литогенеза и эпигенетического рудообразования в Башкирском мегантиклиниории показано, что разрез рифейских отложений имеет ритмичное строение, обусловленное последовательным чередованием определенных литологических комплексов. Даны характеристика зональных постдиагенетических изменений осадочных пород, реконструирован геотермический градиент, составляющий 0,8 °С на 100 м погружения разреза. Рудные растворы формировались в ходе катагенеза рифейских отложений при взаимодействии с внутрислоевыми водами.

Табл. 5, рис. 3, библ. 14 назв.

УДК 551.243

Строение и генезис Тастысайской кольцевой структуры (Южные Мугоджары) / Слободчиков Е. А. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 86—91. — Рус.

Рассматривается геологическое строение Тастысайской кольцевой структуры, называемой рядом геологов кольцевой

габбро-гранитной интрузией, прорывающей докембрийскую кварцито-гнейсовую толщу. Автором статьи на основе анализа вещественного состава, условий залегания и внутреннего строения гранитоидов и вмещающих их пород делается вывод о метаморфической природе всех рассматриваемых образований. При этом граниты ядра структуры принимаются азактическими, конформные граниты — логообразные тела гранитондного состава — кварц-полевошпатовыми метасоматитами заключительного этапа синклинического полугомометаморфизма, в целом структура — «корни» гранито-гнейсового купола дигенитондного происхождения, а дигенитогнейсы, вмещающие граниты и метасоматиты, — дегранитизированным основанием этого купола.

Рис. 3, библ. 7 назв.

УДК 552.16 : 552.22

Алмазы в гнейсовом комплексе / Кельмал Г. А., Лукин В. Г. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 92—94. — Рус.

В гранат-пироксеновых породах, залегающих среди гнейсов Сысерско-Ильменогорского метаморфического комплекса на Среднем Урале, наряду с другими высокобарическими минералами обнаружены акессорные алмазы. Приводятся краткие характеристики алмаз-содержащих минеральных парагенезисов, анализируется структурная позиция высокобарических образований. Авторы приходят к выводу, что возникновение их обусловлено сопряженным действием интенсивного давления, связанного с формированием гнейсово-диапиронда, в общеуральских субширотных стрессовых напряжений.

Табл. 1, рис. 1, библ. 8 назв.

УДК 552.321.5/6(470.5)

Флогопитовые ультрамафиты в концентрически-зональных дунит-пироксенитовых массивах Платиноносного пояса Урала / Ильин О. К., Вильцов В. А. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 95—104. — Рус.

Флогопитовые ультрамафиты (ФУ), встречающиеся в Светлоборском массиве, развиты среди клинопироксенитов и представлены флогопитовыми верлитами, клинопироксенитами, флогопит-амфиболито-пироксенитами, породами и флогопитовыми горнбледитами. Флогопит мало-

титанистый и бесфтористый. Образование ФУ связывается с выносом К и Al при кристаллизации дунитового расплава, при 700–800 °С в гипабиссальных условиях. К–Ат возраст 426–432 млн. лет.

Рис. 5, библ. 20 назв.

УДК 553.491+4705

О генезисе платинового оруденения в зональных массивах Платиноносного пояса Урала (на примере Нижне-Тагильского массива) / Малахов И. А., Савочкин И. В., Сычева Г. А. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 104–115. — Рис.

Полученные данные по составу и содержанию металлов платиновой группы и ассоциирующих с ними оливинов и хромспинелидов в Нижне-Тагильском дунитовом массиве свидетельствуют о решающей роли тектоники на локализацию платинового оруденения, в основном связанным с жилами окраинных дунитов, и значительном влиянии процессов метаморфизма, способствующих формированию самородной платины и ее связи с хромитами более железистого состава. Температура формирования платинового оруденения, имеющего эпигенетический характер по отношению к хромитам, соответствует интервалу температур от 600 до 900 °С, т. е. отвечает пневматолитовому, а не позднемагматическому этапу, как предполагалось ранее.

Табл. 5, библ. 16 назв.

УДК 553.896.422.6

Условия формирования эндогенных месторождений жадеита / Бушев А. Г., Поленов Ю. А., Аеров Г. Д. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 115–123. — Рис.

На основании общеgeологической позиции жадеитовых образований делается вывод о их связи с гранитоидами, плагиоклазитами и альбититами ультрабазитового комплекса. Жадеитовые образования формировались в условиях зеленосланцевой, реже амфиболитовой фации эклогит–глаукофанового типа при водно-углеводородно-углекислотном составе летучих компонентов. Месторождения жадеита представляют собой поля эпигенетических пегматитов и альбититов в зонах тектонических нарушений в динамической части массивов гипербазитов.

Табл. 1, рис. 3, библ. 10 назв.

УДК (553.24+553.3) : 553.078

Метасоматизм и рудообразование (Проблемы уральской геологии) / Грязнов О. Н. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 124–133. — Рис.

Рассмотрены состояния проблемы «Метасоматизм и рудообразование», основные направления, разрабатываемые Уральской горной школой: принципы и методы изучения метасоматических образований, метасоматизм и вопросы рудообразования, закономерности размещения рудоносных метасоматических формаций, метасоматическая зональность, прикладное значение рудоносных метасоматитов. Намечены направления дальнейших исследований.

Библ. 8 назв.

УДК 553.04!

Рудные метаобласти и нелинейный характер металлогении в горной части Полярного Урала / Бабенко В. В. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 133–141. — Рис.

Рудные метаобласти приурочены к поперечным блокам, прошедшим поликратическое развитие: в байкальском цикле (ранние уралиты) эзогеноклиническое, в каледоно-герцинском (поздние уралиты) многоэзогеноклиническое. Для них присуща сломсто-инверная структура, которая представляет собой проявление автохтонно-аллохтонного характера рудообразования. Все это придает металлогению Западной металлогенической субпровинции Полярного Урала нелинейный характер как в геометрическом, так и в функциональном отношении.

Рис. 2, библ. 5 назв.

УДК 553.41+553.068.5+550.8

Система «коренной источник – россыпь» и прогнозно-поисковый комплекс / Бараников А. Г. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 141–147. — Рис.

Пространственную и генетическую связь между золотороссыпными и рудными объектами предлагается анализировать в рамках системы «коренной источник – россыпь». Основные закономерности формирования и пространственного размещения отмеченных месторождений золота раскрываются в виде ряда

поисковых критериев и признаков. Они обобщены в предложении прогнозно-поисковом комплексе (ППК). ППК имеет «двустороннюю» направленность и может быть использована как при прогнозировании и поисках россыпных месторождений, так и залегающего золотоносения, отвечающего рангу россыпей образующих формаций. В блок-схеме ППК предусмотрены и сокращенные варианты реализации поисков за счет выявления высоконинформативных признаков и применения эффективных методов. ППК апробирован при изучении ряда рудно-россыпных районов и нашел отражение в разработанных рекомендациях.

Табл. 1, рис. 1, библ. 4 назн.

УДК 553.43 : 550.84

Рудные столбы медноколчеданных месторождений / Петруха Л. М. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 147—153. — Рус.

Залежи медноколчеданных месторождений представляют собой совокупность рудных столбов меди, цинка и серы различных порядков. Форма рудных столбов в плоскости залегания рудных тел изометрическая. Размеры в соответствии с частотными характеристиками геохимических полей меди, цинка и серы в плоскости залежей рудных столбов I порядка 50—120 м, II порядка 10—35 м. Содержание меди в рудных столбах выше, чем на участках разделенных их бедных руд в 3—52 раза, цинка в 7—119 раз, серы на 9—23%. Такое строение рудных залежей определено геологическими факторами, в частности, закономерным распределением разрывных нарушений — путем движения гидротермальных растворов и особенностями рудообразующего процесса — стадийностью накопления сульфидов железа, меди и цинка, а также последующими метаморфическими преобразованиями руд.

Табл. 1, библ. 22 назн.

УДК 551.4+553.981/982(470.1)

Выявление локальных нефтегазопромышленных объектов в современном рельфе (на примере Вычегодско-Камского региона) / Киягин С. Л. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 153—162. — Рус.

Избран наиболее надежный путь отработки методики структурно-геоморфологических исследований — сопоставление современного рельфа с морфоло-

гической детально изученных поднятий и месторождений на разных уровнях. Выявлено 10 типов структурно-геоморфологических аномалий с комплексами индикаторных признаков. Дается формулировка понятия «структурно-геоморфологическая аномалия», ее основных параметров. По ним в ряде случаев можно прогнозировать этаж нефтегазоности и перспективность слабонизученных территорий.

Рис. 3, библ. 23 назн.

УДК 550.837

Изучение анизотропии горных пород в рудной зоне электроразведки / Редузубов А. А., Сысков С. С. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 163—171. — Рус.

Рассмотрены геологические причины анизотропии электрических свойств горных пород и возможные аспекты использования этого параметра в геологоразведочной практике. Высказанные соображения иллюстрируются результатами изучения анизотропии электропроводности из колчеданом рудном поле.

Рис. 2, библ. 8 назн.

УДК 550.837

Каротаж рудных скважин с использованием колонны бурильных труб / Козырян А. К., Минцев А. И. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 171—179. — Рус.

Обобщены результаты теоретических разработок каротажа по методу сопротивлений и электродных потенциалов с использованием колонны бурильных труб, являющейся продолжением многолетних исследований в области одноволнового каротажа из рудных месторождениях, выполняемых на ГФФ УГИ. Описан принцип и теория методов, приведены принципиальные схемы методов и пример их производственного применения. Излагаются соображения о производстве каротажа в процессе бурения рудных скважин.

Рис. 2, библ. 10 назн.

УДК 550.834

Инженерная сейсморазведка и сейсмоакустика / Бондарев Б. И., Крылатков С. М., Пущина Ж. В. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 180—185. — Рус.

С 1967 г. из кафедре структурной геофизики УГИ развивается научное направление — инженерная сейсморазведка. В рамках его выполняемы аппаратурные разработки, создана методика изучения физико-механических свойств горных пород верхней части разреза, разработана теория и программные средства решения основных прямых и обратных задач инженерной сейсморазведки. В связи с развитием геофизических работ по освоению месторождений нефти и газа на шельфе в 80-е годы создается принципиально новая технология — многоканальная цифровая сейсмоакустика. Оба направления открывают широкие возможности использования сейсморазведки для решения инженерно-геологических задач.

Библ. 5 назв.

УДК 550.83

Способ опробования горных пород и руд по гамма-излучению / Давыдов А. В. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 185—188. — Рус.

Рассматривается принцип одновременной регистрации гамма-излучения за основе измерений в двух энергетических интервалах спектра естественного гамма-излучения горных пород и вопросы реализации радиометра гамма-опробования.

Библ. 5 назв.

УДК (556.3+624.131) : 470.5

Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геокологии при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых на Урале / Абдуров И. В., Афанасьев Э. И., Грязнов О. Н., Гуман О. М., Дубейковский С. Г., Новиков В. П., Палкин С. В., Парфенова Л. П. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 189—199. — Рус.

Рассмотрены состояние и основные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геокологии при разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых на Урале. Приведено гидро- и инженерно-геологическое районирование территории. Показано влияние геологического строения месторождений на их гидро- и инженерно-геологические особенности. На примерах типовых объектов рассмотрены гидрогеологические, инженерно-геологические и геокологические условия месторождений разного генезиса в видах минерального сырья в различных региональных структурах — платформенных Предуралья и Зауралья, синклиниорных и

антеклиниорных зонах горноскладчатого Урала. Намечены направления дальнейших исследований.

Библ. 6 назв.

УДК (556.3 : 550.812) : 628.1

К вопросу о разведке и эксплуатации месторождений подземных вод на Урале / Палкин С. В., Палкин С. С. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 199—203. — Рус.

Используя опыт разведки месторождения подземных вод, а также многолетние систематические наблюдения за их эксплуатацией, сформулировали несколько важных задач и проблем прикладной гидрогеологии. Показано, что приоценка эксплуатационных запасов месторождений необходимо учитывать регулирующее влияние зоны зэрзания, создаваемой в нарушенных гидрогеологических условиях. При высокой техногенной нагрузке на геологическую среду качество подземных вод при разведке месторождений должно изучаться с учетом анализа реальной антропогенной ситуации на площади формирования запасов. Актуальным представляется включение в народнохозяйственное использование эксплуатационных ресурсов солоноватых вод Зауралья, а также использование для водоснабжения подземных вод шахтных и карьерных дренажей. Отмечены недостатки водохозяйственной практики при эксплуатации подземных вод.

УДК 551.24 : 556.3 : 624.131

Влияние напряженного состояния скальных массивов на гидрогеологические свойства тектонических нарушений / Тагильцев С. Н., Никитина И. А. // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. — 1993. — Вып. 2. — С. 204—207. — Рус.

На основании современных представлений о напряженном состоянии массивов горных пород в районе железорудных месторождений Среднего Урала выполнена оценка современной активности тектонических нарушений. Расчеты показали, что наиболее активными являются разломы, простирание которых в плане составляет прямой угол с направлением главного горизонтального напряжения, а угол падения сместителя к горизонтальной плоскости зависит от ряда параметров. Результаты теоретических расчетов сопоставлены с фактическими материалами, характеризующими современную активность разломов на основании гидрогеологических и инженерно-геологических данных.

Рис. 1, библ. 3 назв.

ABSTRACTS

UDC 622.003.13

Scientific Conception of Re-evaluation of mineral Raw Material Base of Russian Federation. / Kozakov E. M., Pakhomov V. P., Ignatyev M. N. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. p. 9—13. — Russian.

The necessity of re-evaluation of mineral raw material base of Russian Federation is given proof of on the basis of wide social-economic approach which supposes to provide normal well-being of the population of the territory where the exploited deposit is located, the production aimed tasks being retained.

The idea of the social-economic approach is revealed, the complex of the main tasks that must be solved to achieve aimed purpose is determined.

Special attention is paid to the problem of solution of contradictions between social priorities and economic activity of mining industry. The authors suggest to change radically the procedure of exploration substantiation, deposits development and adoption of compromise solution.

UDC 551.3.051 : 552.5 (57)

On Necessity of the Role Re-evaluation of Genetic Investigations in Coal Geology. Alexeyev V. P., Koshevoy V. N., Krivikhin S. V., Maksimov V. A., Resulov A. T., Refat S. M., Russkiy V. I. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 14—21. — Russian.

On the basis of general knowledge of the structure of geological information an independent role of coal geology is shown within which many directions of investigations of geological phenomena and processes have been originally worked out. The domination of "structural" approach in practical coal exploration works is indicated which does not need considerable amount of initial data. Its insufficiency is shown and—with concrete examples—the necessity of wide use of genetic investigations at all stages of coal-bearing deposits examinations is suggested.

Table 1, Fig. 3, Ref. 7.

UDC 550.8/519

On the Problem of Information Evaluation of Indications in Forecast-Geological Investigations. / Vyatkin V. B. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 21—28. — Russian.

Critical analysis has been made on traditional method of determination of informative indications with the help of information theory. After having reviewed the cartographic system of "ore-taxonomic object-indication" the author presents principles of negentropy (information) conception of reflection. The negentropy (information) role of reflection has been suggested to be used as an informative indication in forecast-geological investigations. Functional interrelation of negentropy conception with Shannon theory of information has been established at given conditions and non-correctness of the use of the latter has been shown in studying of ore-taxonomic objects.

Fig. 2, Ref. 13.

UDC 622.271.333 : 624.131.537

Processing Methods of Fissuring Mass Measurements with Computers. Zoteev V. G., Zoteev O. V., Koslerova T. K. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 28—34. — Russian.

Data processing of mass measurements with the use of computers is complicated by the criterium absence in determination of boundaries of fissuring systems and combined processing of two parameters (azimuth and dip angle). A method and programme of mass measurements processing is suggested which helps to distinguish a system of fissures in the range of one- and two-mean quadratic deviations on α and δ , and also to determine their average values and statistic characteristics of continuity, intensity, disclosing and the like, on every system.

Tables 2, Fig. 1, Ref. 8.

UDC 550.832:553.2

Computer Petrophysical Classification of Ore Containing Rocks on Well-Logging

Diagrams. / Sapozhnikov V. M. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 35—41. — Russian.

Shemurskaya structure containing some copper pyrite deposits and ore manifestation has been taken as an example of the use of suggested method of the processing of well-logging diagrams with computers. The method permits to draw bore-hole graphs of four parameters reflecting basicity (acidity) and intensity of rocks transformation. In the considered example measurements of density, magnetic susceptibility, natural radioactivity and resistivity have been used. Results of processing permit to obtain data which are of great interest in investigation of geological structures and in solution of forecast-searching and then exploration tasks.

Fig. 2. Ref. 5.

UDC 550.837.653

Automatic System of Results Interpretation in Ore Petrophysics. / Serkov V. A. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 41—46. — Russian.

The main problems of automation of the process of results interpretation in petrophysical investigations are reviewed in the search and exploration of ore deposits. Ways of their solution have been determined. The structure of software and information supply of the automatic processing system and data interpretation of petrophysical investigations is described.

Interpretation technology is illustrated by an example of distribution modelling of electric resistivity in a section of a copper pyrite deposit.

Fig. 3. Ref. 6.

UDC 620.550

Complex Analysis of Complicated Geological Technical Conditions of Drilling. / Oshkordin O. V. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 46—51. — Russian.

General principles are reviewed how to prevent accidents in boring, geological technical complications and technological defects when exploration drilling takes place in complicated conditions.

Technological peculiarities of complicated conditions are considered from

6 positions of systematic approach. Structural model has been suggested describing interrelation of factors of anomalous technological phenomena and general algorithm of adoption of joint technical-technological solutions.

The possibility of successive application of a complex of structural analysis methods for the elaboration of rational solutions in complicated conditions for boring has been considered.

Ref. 3.

UDC 563.627

Stromatoporites and Heliolitoidees of the Urals Paleozoic Basin. / Bogolyubovskaya O. V., Lobanov Ye. Yu. // Izvestiya of the Urals School of Mines. — 1993. — Issue 2. — p. 52—62. — Russian.

For the first time the authors speak about peculiarities of distribution of two closely related groups of stromatoporites and heliolitoidees in the Urals paleobasin beginning from middle Ordovician up to late Famennian. Distribution of these groups in organogenic shell structures and over elevated bottom areas of deep water zones has been established. Distinguished complexes of stromatoporites and heliolitoidees may be used as a correlation basis for corresponding deposits of the Urals-Mongolian belt.

Ref. 24.

UDC 551.24.052+553.041

Horizontal Earth's Crust Movements and Local Forecasting of Mineral Deposits. / Gorobchankin // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 63—67. — Russian.

Horizontal Earth's crust movements are followed by regular orientation of fractures and intrusive bodies. Due to the confinement of many endogenous deposits and ore manifestations to the hanging walls of the most deformed fracture walls and endo- and exocontact zones submerging from the centre of the intrusive massif the most prospective local areas of mineral deposits are determined.

Fig. 3. Ref. 7.

UDC 551.21.563.3.078(234.851)

Paleovolcanic Forecasting Criteria of Late Reel and Early Paleozoic Endoge-

nctic Mineralization of the Western Part of the Northern Urals / Dushin V. A. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993 — Issue 2. — p. 68—75. — Russian.

Results of paleovolcanic investigations of reef and paleozoic deposits of the polar and Pre-Polar Urals given in the article permitted for the first time to reconstruct paleogeodynamic situation and to reveal regional and local paleovolcanic criteria of forecasting of pyrite, pyrite-polymetallic and copper-molybdenum-porphry mineralization. General types of ore objects according to facies and leading paleovolcanic structures have been given, perspective ore areas and fields have been distinguished.

Tables 2, Fig. 1, Ref. 9

UDC 551.72+552.5(470.0)

Reef Sedimentary-Rock Basin in the Southern Urals / Anfimov L. V. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993 — Issue 2. — p. 75—85. — Russian.

After having considered in mutual interrelation of lithogenesis and epigenetic ore formation in Bashkir megaclinionium the author shows that geological section of reef deposits reveals regular structure due to successive alternation of definite lithological complexes. Characteristics of zonal postdiagenetic changes of sedimentary rocks have been given, geothermal gradient totalling 0.8 °C per 100 m of the section submerging has been reconstructed. Ore solutions were formed during katagenesis of reef deposits with interlayered waters interrelation.

Tables 5, Fig. 3, Ref. 14.

UDC 551.243

Composition and Genesis of Tasyssky Circular Structure (Yuzhny Mutotdzhary) / Slobodchikov Ye. A. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993 — Issue 2. — p. 86—91. — Russian.

A description is given of geological composition of Tasyssky circular structure called by a number of geologists as circular gabbro-granite intrusion breaking through pre-Cambrian quartzite-gneiss thickness. The author makes a conclusion on metamorphic nature of all considered formations on the basis of subsidence composition analysis, conditions of occurrence and internal composi-

tion of granitoids and enclosing rocks. It is noted that granites of the structure core are considered to be anatectic while arc-like bodies of granitoid composition conformal to granites are assumed to be quartz-feldspar metasomatises of a final stage of static plutonic metamorphism. The structure as a whole is supposed to be of diapiric origin by its «roots» of granite-gneiss dome and diorite gneisses inclosing these granites and metasomatises are the degranitized foundation of that dome.

Fig. 3, Ref. 7.

UDC 552.16 : 552.22

Diamonds in Gneiss Complex / Keilmann G. A., Lukin V. G. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993 — Issue 2. — p. 92—94. — Russian.

Accessory diamonds along with the other high bar minerals have been discovered in garnet-pyroxene rocks occurring among gneisses of Syseri-Ilmen metamorphic complex in the Middle Urals. Short characteristics of diamond-containing mineral paragenesis are presented, structural position of high bar formations is analysed. The authors come to the conclusion that their appearance is explained by the influence of intensive pressure connected with the formation of gneiss diapiride and the whole Urals sublatitude stress tensions.

Fig. 1, table 1, Ref. 8.

UDC 552.321.5/6(470.5)

Phlogopite Ultramafites in Concentric-Zonal Dunite-Pyroxenite Massifs of the Urals Platinum Belt / Ivanov O. K., Villisov V. A. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993 — Issue 2. — p. 95—104. — Russian.

Phlogopite ultramafites (PU) occurring in Svetloborsky massif has been developed among clinopyroxenite and are presented by phlogopite verlites, clinopyroxenites, phlogopite-amphibole-pyroxene rocks and phlogopite hornblendite. The phlogopite contains little titanium and has no fluorine. The authors consider the formation of PU to be connected with removing of K and Al in crystallization of dunite melt at 700—800 °C in hypabissal conditions. The age of K-Ag is 426—432 min. years. Nine chemical analysis of rocks and ten chemical analysis of minerals are presented.

Fig. 5, Ref. 20.

UDC 563.491+470.5

On Genesis of Platinum Mineralization in Zonal Massifs of Platinum-Bearing Urals Belt / Nizhny-Tagil massif as an example / Malakhov I. A., Savokhin I. V., Sycheva G. A. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. p. 104—115. — Russian.

Available data on composition and metal content in platinum group and olivines and chrom-spinelites associated with them in Nizhny-Tagil dunite massif speak about a decisive role of tectonics in localization of platinum mineralization connected mainly with disseminated dunite veins. Besides the authors speak about a considerable influence of metamorphism processes that facilitate the formation of native platinum and its association with chromites having more iron content. It is noted that during the platinum mineralization having epigenetic character in relation to chromites the temperature corresponds to the interval from 600°C to 900°C i.e. it coincides with pneumatolytic but not with late-magmatic stage as it was supposed before.

Tables 5, Fig. 16.

UDC 553.896.422.6

Formation Conditions of Endogenous Jade Deposits / Bushchuk A. G., Polenov Yu. A., Ayerov G. D. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. p. 115—123. — Russian.

Taking into consideration general geological positions of jade formations a conclusion has been made on their associations with granitoids, plagioclases and albitites of ultrabasite complex. Jade deposits were formed in conditions of green shale occasionally amphibolite facies of eclogite-glaucophane type at water-hydrocarbon-carbonic acid compositions of volatiles. Jade deposits are considered to be fields of epigenetic pegmatites and albitites in zones of tectonic faults in apical parts of hyperbasites massifs.

Table 1, Fig. 3, Ref. 10.

UDC (553.24+553.3) : 553.078

Metasomatism and Ore-Formation (Problems of the Urals Geology) / Gryaznov O. N. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology

and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 124—133. — Russian.

The article presents the state of the problem «Metasomatism and ore-formation» and main directions developed by the Urals School of Mines: principles and methods of investigation of metasomatic formations, metasomatism and problems of ore-formation, objective regularities in disposition of ore-bearing metasomatic formations, metasomatic zonation, applied importance of ore-bearing metasomatism. Directions of further researches are outlined.

Ref. 8.

UDC 553.041.

Ore Megaregions and Non-Linear Character of Metallogeny in Mountains of Polar Urals / Babenko V. V. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 133—141. — Russian.

Ore megaregions are confined to lateral blocks having passed polycyclic development: in Balkal cycle (early uranides) eugeosyncline, in Caledono-Hercynian cycle (late uranides) miogeosyncline. The author stresses that they are characterized by laminated-anchor structure displaying autochthonous-allochthonous nature of mineralization. It gives to metallogeny of the Western metallogenic sub-province of the Polar Urals non-linear character both in geometry and in functions.

Fig. 2, Ref. 5.

UDC 553.41+553.068.5+550.8

Native Source — Placers System and Forecasting Search Complex / Baranikov A. G. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 141—147. — Russian.

Areal and genetic interrelations between gold placers and ore objects are suggested to analyze within a system of «native source-placer». It is stressed that the main regularities in formation and areal placement of marked gold deposits are revealed in a number of search criteria and indications. They have been summarized in the suggested forecasting-search complex (FSC). FSC is of «two sides direction and may be used both in forecasting and search for placer deposits and endogenous gold mineralization corresponding to the rank of placer forming ore formations. FSC block-

scheme foresees reduced variants of realization of searches at the account of revealing of high informative indications and the use of effective methods. FSC has been tested in the investigation of a number of ore-placer areas the results being reflected in developed recommendations.

Table 1, Fig. 1, Ref. 4.

UDC 553.43 : 550.84

Ore Columns of Copper Pyrite Deposits / Petrukhin L. M. // Izvestiya of the Urals School of Mines. — 1993. — Issue 2. — p. 147—153. — Russian.

It is suggested that deposits of copper pyrite represent an assemblage of ore columns of copper, zinc and sulphur of different sequences. Ore columns shape in a plane of ore bodies occurrence is isometric. According to frequency characteristics of geochemical fields of copper, and sulphur in a plane of ore columns occurrence their dimensions are the following: I sequence — 50—120 m, II sequence — 10—35 m. Copper content in ore columns is higher by 3—52 times, zinc by 7—119 times and sulphur by 9—23 % than in areas of poor ores separating them. It is stressed that such structure of ore deposits is defined by geological factors namely regular distribution of faults (hydrothermal solutions way of movement and peculiarities of ore forming process), stages of accumulation of iron, copper and zinc sulphides and the following metamorphic ore transformations.

Table 1, Ref. 22.

UDC 551.4+553.981/982(470.1)

Discovery of Local Oil-Gas Perspective Objects in Modern Relief (Vychegodsky-Kamsky Region as an example) / Knyazhin S. L. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 153—162. — Russian.

The most reliable way has been selected to work out the method of structural-geomorphological investigations-correlation of modern relief with morphology of thoroughly examined uplifts and deposits at different levels. Ten types of structural-geomorphological anomalies with complexes of indications has been revealed. Wording of the conception «structural-geomorphological anomaly» and its main parameters are given. With the help of them in some cases it is possible to forecast an oil-gas horizon

and perspectives of poorly examined territories.

Fig. 3.

UDC 559.837

Investigation of Anisotropy of Rocks in ore Electrical Prospecting / Redozubov A. A., Syakov S. S. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 163—171. — Russian.

Geological properties of anisotropy of electrical properties of rocks and possible aspects of the use of this parameter in practical geological exploration are considered. The conception is illustrated by results of anisotropy investigation of electric conductivity and polarizability in pyrite ore field.

Fig. 2, Ref. 8.

UDC 550.837

Well-Logging of Boreholes with the Use of Drill Pipe String / Kozyrin A. K., Mintsev A. I. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. Issue 2. — p. 171—179. — Russian.

At the Geophysical Department of the Urals School of Mines investigations in the field of one-electrode well-logging has been carried out for a long time. The article presents summarized results of theoretical developments of well-logging by resistivity and electrode potential methods with the use of drill pipe string. Principle and theory of methods are described, principal schemes of methods and the example of their application has been presented. The use of well-logging in drilling of ore bore holes is considered.

Fig. 2, Ref. 10.

UDC 550.834

Engineering Seismic Prospecting and Seismic Acoustics / Bondarev V. I., Krylatkov S. M., Pushchin Zh. V. // Izvestiya of the Urals School of Mines. Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 180—185. — Russian.

Engineering seismic prospecting as a scientific direction has been developing at the Chair of structural geophysics at the Urals School of Mines since 1967. As a result the hardware and methods

of investigation of physical-mechanical properties of rocks in the upper of the section have been developed besides a theory and software for solving of the main direct and reverse problems of engineering seismic prospecting has been presented. In connection with the geo-physical exploration at shelf oil and gas deposits in the 80ies principally a new technology multi-channel digital seismoaustics is being developed. Both directions open wide perspectives for the use of seismic prospecting in solving of engineering-geological problems.

Ref. 5.

UDC 550.83

Methods of Rocks and Ores Testing on Gamma Emissions / Davydov A. V. // Izvestiya of the Urals School of Mines, Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 185—188. — Russian.

The principle of one-directional detector registration of gamma-emission has been considered on the basis of measurements in two energetic spectra intervals of natural gamma-emission of rocks and problems of radiometer gamma-testing realization.

Ref. 5.

UDC (556.3+624.131) : 470.5

Problems of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology in Exploration and Exploitation of Solid Mineral Deposits in the Urals / Abasurova I. V., Al'anaclasi L. I., Gryaznov O. N., Guzman O. M., Dubekovskiy S. G., Novikov V. P., Palkin S. V., Parfenova L. P. // Izvestiya of the Urals School of Mines, Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 189—199. — Russian.

A description is given on the state and main problems of hydrogeology, engineering geology and geoecology in exploration and development of solid mineral deposits in the Urals. Hydro- and engineering-geological territory division into districts is presented. It is shown how the geological composition of deposits influences their hydro- and engineering-geological peculiarities. Having taken type objects as examples they have considered hydrogeological, engineering-geological and geoecological conditions of deposits with different genesis and varieties of mineral raw materials in different regional structures-platform before the Urals and behind the Urals, synclinore and anticlinore zones

of the mountain-folded Urals. Directions of further researches have been outlined.

Ref. 6.

UDC (556.3 : 550.812) : 628.1

A Contribution to the Exploration and Exploitation of Underground Waters Occurrences in the Urals / Palkin S. V., Palkin S. S. // Izvestiya of the Urals School of Mines, Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. — Issue 2. — p. 199—203. — Russian.

Having used experience in the exploitation of underground waters fields and long systematic observation over their exploitation the authors have formulated some important tasks and problems of applied hydrogeology. It has been shown that estimating the exploitation reserves of underground waters it is necessary to take into consideration regulating influence of aeration zones developed in broken hydrogeological conditions. When burden of wastes on geological medium is high the quality of underground waters in the exploration of occurrences must be examined accounting analysis of real anthropogenic situation over the area where formation of the reserves had taken place. The authors suggest to use in national economy the exploitation resources of weakly salt waters behind the Urals and also to use underground waters of mine and quarry drainage for water supply. It is stressed that there are shortcomings in water economic practice in the exploitation of underground waters.

UDC 551.24 : 556.3 : 624.131

Influence of Rock Masses Tension on the Hydrogeological Properties of Tectonic Faults / Tagiltsev S. N., Nikitina I. A. // Izvestiya of the Urals School of Mines, Ser.: Geology and Geophysics. — 1993. Issue 2. — p. 204—207. — Russian.

The article represents the evaluation of modern activity of tectonic faults on the basis of the latest ideas on tension of rock masses in areas of iron ore deposits of the Middle Urals. According to analysis the most active fractures are those the strike of which in plane is vertical to the direction of the main horizontal stress and a dip angle of a shift zone to horizontal plane depends on a number of parameters. Results of theoretical calculation has been correlated with factual materials characterizing modern activity of faults on the basis of hydrogeological and engineering-geological data.

Fig. 1, Ref. 3.

Записки направлять по адресу:
620219, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский горный институт, редакционно-издательский сектор

Редактор изд-ва *Л. В. Устюнцева*
Корректор *Л. Г. Габитова*

ЛР № 020256 от 10.10.91 г.

Сдано в набор 20.04.93. Подписано в печать 01.07.93. Формат 70×108^{1/16}.
Бумага тип. № 2. Гарнитура литер. Печать высокая. Печ. л. 14,0. Усл.печ. л. 19,6.
Тираж 300. Заказ № 134.

Редакционно-издательский сектор
620219, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
ИПП «Уральский рабочий»
620219, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 13

